



Universidade de Aveiro Departamento de Geociencias  
2013

**Cláudia Sofia Quintas  
dos Santos Pinheiro  
Pontes Canha**

**Pavimentos Rodoviários: Uso de Mistura  
Betuminosa Reciclada a Quente**



Universidade de Aveiro Departamento de Geociências  
2013

**Cláudia Sofia Quintas  
dos Santos Pinheiro  
Pontes Canha**

**Pavimentos Rodoviários: Uso de Mistura  
Betuminosa Reciclada a Quente**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Geológica, realizada sob a orientação científica de Fernando Ernesto Rocha de Almeida, Professor Associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro e co-orientação científica de José Francisco Horta Pacheco dos Santos, Professor Auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro.



## **O júri**

Presidente

**Prof. Doutor Jorge Manuel Pessoa Girão Medina**

Professor auxiliar do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Fernando Ernesto Rocha de Almeida**

Professor associado do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro

**Prof. Doutor Agostinho António Rocha Correia e Almeida da Benta**

Professor auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

## **Agradecimentos**

Ao Professor Doutor Fernando Almeida, do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, orientador desta dissertação, pelo apoio, acompanhamento, disponibilidade e pela análise crítica ao texto original;

Ao Professor Doutor José Francisco Santos do Departamento de Geociências da Universidade de Aveiro, co-orientador desta dissertação, pelo acompanhamento, disponibilidade e pela análise crítica ao texto original;

À empresa Pedreiras Sacramento Lda, pela oportunidade que me deram de utilizar todos os dados e equipamentos da empresa para a realização deste trabalho. Por todas as facilidades concedidas um especial agradecimento;

À empresa Manuel Francisco de Almeida, S.A. pela oportunidade de realizar todos os ensaios necessários nas instalações do Laboratório da empresa, um agradecimento especial;

Aos meus queridos pais, pelo importante e constante apoio e incentivo, tornando possível a realização deste trabalho;

Ao meu marido e filhota pela paciência;

A todos os que directa ou indirectamente me apoiaram nesta etapa um especial agradecimento.

## **Palavras-chave**

Reciclagem, misturas betuminosas a quente em central, material fresado, fresagem , pavimentos rodoviários, reabilitação, Formulação de misturas betuminosas.

## **Resumo**

A rede rodoviária nacional é na sua maioria constituída por pavimentos flexíveis, encontrando-se muitos deles em condições bastante degradadas, reflexo de factores climáticos e de tráfego. Assim, existe a necessidade de os reabilitar, por forma a conferir melhores características, prolongando o tempo de vida dos pavimentos.

Com este trabalho, pretende-se mostrar que a técnica de reciclagem a quente em central é uma boa alternativa a ter em consideração na reabilitação de pavimentos, uma vez que possibilita a reutilização dos materiais provenientes da fresagem das camadas do pavimento danificadas na incorporação das novas misturas.

O principal objectivo deste trabalho foi contribuir para a aplicação de misturas betuminosas recicladas a quente com incorporação de 30% de material fresado proveniente da obra a sofrer beneficiação, no caso Beneficiação da EN 1 entre o IP5 e Albergaria – A - Nova

Foi realizado um estudo laboratorial para formulação da mistura, segundo o CE das Estradas de Portugal. Posteriormente, realizou-se um trecho experimental na obra para verificação dos valores.

Este trabalho fomenta a aplicação de misturas recicladas, promovendo assim a não exploração excessiva de pedreiras e jazidas de petróleo.

**Keywords**

Recycling, bituminous hot mix in central milled material, milling, road pavements, rehabilitation, formulation of bituminous mixtures.

**Abstract**

The national road network is mostly made of flexible pavements, and the majority of them is very degraded as a result of climatic factors and traffic. Thus, it is necessary to rehabilitate them in order to provide them with better characteristics, and extend the life of the pavement.

This paper aims to show that the technique of hot recycling is a good alternative to consider in pavement rehabilitation, as it allows the reuse of materials from the milling of damaged pavement layers in the incorporation of new mixtures.

The main objective of this paper is to contribute to the application of hot recycled bituminous mixtures incorporating 30 % of the milled material from the pavement which is being improved – in this case, the improvement of EN 1 between IP5 and Albergaria-a-Nova.

We conducted a laboratory study to formulate a mixture, according to the CE from Estradas de Portugal. Afterwards we made an experimental section to check the values.

This paper encourages the use of recycled mixtures, promoting the non-excessive exploitation of quarries and oil fields.

## ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1. Enquadramento .....	3
1.2. Objectivos .....	4
1.3. Conteúdo da dissertação .....	5
2. PEDREIRA SACRAMENTO - CARACTERIZAÇÃO .....	11
2.1. Localização .....	11
2.2. Breve resumo histórico da Pedreira .....	13
2.3. Enquadramento Geológico.....	15
2.4. Metodologia da Exploração .....	17
2.4.1.Furação .....	18
2.4.2. Desmonte .....	18
2.4.3. Remoção, Carga e Transporte .....	21
2.5. Plano de Segurança e Saúde (PSS) .....	22
2.5.1.Obrigações da empresa .....	22
2.5.2.Direito e deveres dos trabalhadores.....	23
2.5.3. Trabalhos com riscos .....	23
2.6. Plano Ambiental de Recuperação Paisagística (PARP) .....	29
2.6.1. Objectivos.....	29
2.6.2. A exploração da pedreira e a recuperação paisagística .....	29
2.6.3. Medidas Cautelares .....	30
2.6.4. Técnicas de Recuperação e Integração Paisagística .....	31
2.7. Centrais e Produtos .....	31
2.7.1. Central de britagem .....	31
2.7.2. Central de misturas betuminosas a quente.....	35



---

2.7.3. Central de betão hidráulico.....	41
3. CONTROLO DA QUALIDADE DA PEDREIRA.....	45
3.1. “MARCAÇÃO CE” nos produtos para a construção (Directiva 89/106/CEE)....	45
3.2. Referências normativas para atribuição da “Marcação CE” nos agregados e misturas betuminosas produzidos pelas Pedreiras Sacramento, Lda.....	46
3.2.1. No caso dos agregados .....	46
3.2.2. No caso de Misturas Betuminosas.....	47
3.3. Planos de Inspeção e Ensaio agregados e misturas betuminosas produzidos pelas Pedreiras Sacramento, Lda .....	47
4. RECICLAGEM DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS .....	57
4.1. Pavimentos Rodoviários .....	57
4.2. Degradações nos Pavimentos.....	60
4.3. Reciclagem de pavimentos .....	62
4.4. Tipos de Reciclagem.....	64
4.4.1. Reciclagem <i>in situ</i> .....	64
4.4.2. Reciclagem em Central.....	64
4.5. Estudo efectuado sobre Reciclagem de misturas betuminosas a quente em central, segundo Baptista, A. (2006) – Avaliação das Características Mecânicas de Misturas Recicladas a Quente em Central.....	68
5. BQ com incorporação de 30% de material fresado – caso em estudo.....	73
5.1. Caracterização dos materiais a utilizar na mistura betuminosa .....	73
5.1.1. Caracterização do Ligante .....	73
5.1.2. Caracterização do Filler.....	73
5.1.3. Caracterização do material fresado.....	74
5.1.4. Caracterização dos agregados da Pedreiras Sacramento .....	77
5.2. Realização da Mistura betuminosa .....	84
5.2.1. Determinação da proporção de cada agregado e curva granulométrica .....	84

---

5.2.2.	Determinação da relação Filler/betume .....	87
5.2.3.	Formulação da mistura - MÉTODO MARSHALL.....	87
5.2.4.	Determinação da percentagem óptima de betume .....	91
5.2.5.	Determinação das características da mistura final.....	93
5.3.	Transposição da Formula obtida em laboratório para a Central .....	94
5.4.	Execução de Trecho Experimental em obra .....	95
5.5.	Alguns Ensaios realizados ao pavimento após aplicação em Obra .....	98
5.5.1.	Determinação da Rugosidade do pavimento – Macrotextura.....	99
5.5.2.	Determinação do Coeficiente de atrito - Microtextura.....	100
5.6.	Análise de resultados .....	102
6.	CONCLUSÃO E FUTUROS TRABALHOS .....	109
6.1.	Conclusão.....	109
6.2.	Desenvolvimentos futuros .....	111
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	115







## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Localização da Pedreiras Sacramento (extracto da carta militar nº 164).....	12
Figura 2.2 - Acesso à Pedreira Sacramento (retirado do Google maps, Outubro 2012) .....	12
Figura 2.3 - Placa de entrada da Pedreira (foto da autora) .....	13
Figura 2.4 - Localização geológica da Pedreiras Sacramento, Lda (extracto Folha 13-D - Oliveira de Azeméis – da Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50000; Pereira <i>et al.</i> , 2007).....	15
Figura 2.5 - Roc Atlas Copco (foto da autora) .....	18
Figura 2.6 - Corte esquemático de um furo .....	19
Figura 2.7 - Material explosivo utilizado e etapas de carregamento de um furo (foto da autora).....	20
Figura 2.8 - Fluxograma Produtivo da Pedreira (Documentação interna das Pedreiras Sacramento, Lda, 2011).....	21
Figura 2.9 - Central de britagem (foto da autora).....	32
Figura 2.10 - Britagem de agregados (foto da autora).....	33
Figura 2.11 – Esquema de fluxo produtivo da central de britagem (Documentação interna das Pedreiras Sacramento, Lda, 2011).....	34
Figura 2.12 - Central de misturas betuminosas (foto da autora) .....	35
Figura 2.13 - Esquema de uma central de misturas betuminosas a quente descontínua (Documentação interna das Pedreiras Sacramento, Lda, 2011) .....	37
Figura 2.14 - Britador móvel (foto da autora) .....	38
Figura 2.15 - Tolva do material reciclado da central de misturas betuminosas (foto da autora).....	39
Figura 2.16 – Esquema do fluxo produtivo da central de misturas betuminosas a quente (Documentação interna das Pedreiras Sacramento, Lda, 2011) .....	42
Figura 2.17 - Central de betão hidráulico (foto da autora) .....	41
Figura 2.18 – Esquema do fluxo produtivo da central de betão (Documentação interna das Pedreiras Sacramento, Lda, 2011).....	42
Figura 4.1 – Distribuição das tensões num pavimento rígido e num flexível (PTC 2005) .	58
Figura 4.2 - Corte esquemático de um pavimento flexível.....	58

---

Figura 4.3 – Degradação de tensões nas diferentes camadas que constituem um pavimento flexível (PTC 2005).....	59
Figura 4.4 – Esquema representativo da constituição e solicitações dum pavimento rodoviário flexível (Branco et al., 2010) .....	61
Figura 4.5 - Evolução do estado de um pavimento (Batista, 2004).....	61
Figura 4.6 - Esquema de funcionamento de uma central betuminosa descontínua com incorporação do material fresado a frio (EAPA, 1998).....	66
Figura 4.7 - Esquema de funcionamento de uma central betuminosa descontínua com incorporação do material fresado a quente (EAPA, 1998).....	66
Figura 4.8 - Esquema de funcionamento de uma central betuminosa descontínua com incorporação do material fresado pelo método Recyclean (EAPA, 1998).....	67
Figura 4.9 - Esquema de funcionamento de uma central de torre com incorporação de material fresado a frio (EAPA, 1998).....	68
Figura 4.10 – Representação das leis da fadiga para as misturas com betume 35/50 (Baptista, A., 2006) .....	70
Figura 5.1 - Curva granulométrica do Filler comercial .....	74
Figura 5.2 - Equipamento de fresagem do pavimento da EN1 em Albergaria (foto da autora).....	75
Figura 5.3 - Amostra de material fresado (foto da autora) .....	75
Figura 5.4 - Curva granulométrica do material fresado.....	76
Figura 5.5 - Mufla para ensaio de extracção de betume (foto da autora) .....	76
Figura 5.6 - Agregados das pedreiras Sacramento para realização das misturas (foto da autora).....	78
Figura 5.7 - Esquema representativo de uma sequência de peneiros (adaptado de Bernucci, L et al, 2008) e Série de peneiros utilizados para o ensaio da granulometria (foto da autora).....	79
Figura 5.8 - Curvas granulométricas dos agregados analisados .....	80
Figura 5.9 - Ensaio do Azul de metileno (foto do autor).....	80
Figura 5.10 - Ensaio do Equivalente de areia (foto da autora) .....	81
Figura 5.11 - Paquímetro utilizado para o índice de forma (foto do autor).....	81
Figura 5.12 - Peneiros utilizados para o índice de achatamento (foto da autora).....	82
Figura 5.13 - Equipamento do Ensaio Los Angeles (foto da autora ) .....	82

Figura 5.14 - Ensaio Micro-Deval (foto da autora) .....	83
Figura 5.15 - Curvas granulométricas .....	84
Figura 5.16 - Limites do fuso do CE do EP .....	85
Figura 5.17 - Curva granulométrica final das misturas com e sem material fresado e os limites do fuso do CE .....	86
Figura 5.18 - Etapas de execução de provetes da mistura com material fresado (foto da autora).....	88
Figura 5.19 - Ensaio da baridade dos provetes (foto da autora) .....	89
Figura 5.20 - Ensaio para determinação da BMT (foto da autora).....	90
Figura 5.21 - Prensa Marshall (foto da autora).....	90
Figura 5.22 - Influência da variação do ligante nas propriedades da mistura .....	92
Figura 5.23 - Curva granulométrica da amostra da transposição da central.....	95
Figura 5.24 - Curva granulométrica da mostra do trecho experimental.....	96
Figura 5.25 - Recolha de carotes na camada de pavimento (foto da autora).....	97
Figura 5.26 - Aplicação da mistura em obra (foto da autora) .....	98
Figura 5.27 - Ensaio da Mancha de Areia (foto da autora) .....	99
Figura 5.28 - Ensaio do pêndulo Britânico (foto da autora).....	101
Figura 5.29 - Características Marshall.....	102
Figura 5.30 - Vazios na mistura de agregados das amostras .....	102
Figura 5.31 - Porosidade das amostras .....	103
Figura 5.32 - Relação Filer/betume das amostras .....	103
Figura 5.33 - Índice de resistência conservada das amostras .....	104
Figura 5.34 - Percentagem de ligante das amostras.....	104





**ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 2.1 - Diagrama de fogo da pedreira .....	19
Tabela 2.2 – Resumo das tarefas a realizar na pedreira, riscos e cuidados a ter .....	24
Tabela 2.3 - Tipo de Misturas betuminosas e suas aplicações .....	39
Tabela 3.1 - Plano de Ensaio de Agregados – Marcação CE.....	48
Tabela 3.2 - Plano de Ensaio de Agregados – Marcação CE.....	49
Tabela 3.3 - Plano de Ensaio de Agregados – Marcação CE.....	50
Tabela 3.4 - Plano de Inspeção de misturas Betuminosas – Marcação CE .....	51
Tabela 3.5 - Plano de Inspeção e Ensaio dos materiais constituintes das misturas Betuminosas .....	52
Tabela 3.6 - Plano de Inspeção e Ensaio dos materiais constituintes das misturas Betuminosas .....	53
Tabela 4.1 - Família e tipo de degradações (Pereira & Miranda, 1999).....	62
Tabela 4.2 - Classificação dos tipos de reciclagem (Adaptado de Fonseca, 2002).....	64
Tabela 4.3 – Características das misturas (Adaptado de Baptista, A., 2006).....	69
Tabela 4.4 – Módulos de deformabilidade para as misturas com betume 35/50 (Adaptado de Baptista, A., 2006).....	69
Tabela 5.1 - Características do Ligante (dados fornecidos pela REPSOL).....	73
Tabela 5.2 - Granulometrias dos agregados .....	74
Tabela 5.3 - Características do Filler.....	74
Tabela 5.4 - Granulometria do material fresado.....	75
Tabela 5.5 - Características do material fresado.....	77
Tabela 5.6 - Granulometrias dos agregados .....	79
Tabela 5.7 - Características dos agregados.....	83
Tabela 5.8 - Granulometrias dos agregados .....	84
Tabela 5.9 - Limites do Fuso granulométrico segundo o CE tipo de obra das Estradas de Portugal.....	85
Tabela 5.10 - Composição da mistura .....	85
Tabela 5.11 - Resultado da análise granulométrica da mistura .....	86
Tabela 5.12 - Resultados dos ensaios .....	91
Tabela 5.13 - Critérios do CE para AC14bin35/50 (BB) .....	92

Tabela 5.14 - Características da mistura AC 14bin35/50 (BB) com incorporação de 30% de material fresado com a % óptima de betume.....	94
Tabela 5.15 - Granulometria da mistura.....	94
Tabela 5.16 - Resultados dos ensaios da amostra da transposição para a central .....	95
Tabela 5.17 - Granulometria da mistura.....	96
Tabela 5.18 - Resultados da amostra do trecho experimental .....	96
Tabela 5.19 - Requisitos para porosidade de uma mistura de AC 14bin35/50 (BB) .....	97
Tabela 5.20 - Resultados da baridade e porosidade dos carotes do trecho experimental de AC14bin35/50 .....	98
Tabela 5.21 - Requisitos para MTD de uma mistura de AC14bin35/50 (BB).....	100
Tabela 5.22 - Valores de MTD da mistura aplicada.....	100
Tabela 5.23 - Requisitos para PTV de uma mistura de AC 14bin35/50 (BB) .....	101
Tabela 5.24 - Valores de PTV da mistura aplicada .....	101

**ABREVIATURAS E SIMBOLOGIA**

AASTHO	American Association of State Highway and Transport Officials
ASTM	American Society of Testing and Materials
BS	British Standard
B 35/50	Betume 35/50
CE	Caderno de Encargos Tipo Obra das Estradas de Portugal, S.A.
CEN	Comité Européen de Normalisation
CICCOPN	Centro de Formação Profissional da Indústria da Construção Civil e Obras Públicas do Norte
EAPA	European Asphalt Pavement Association
EIA	Estudo de Impacte Ambiental
EN	European Standard
EP	Estradas de Portugal, S.A.
EPIs	Equipamento de protecção individual
FOPs	Estrutura de protecção contra queda de objectos
F1	Classe de material fresado
F2	Classe de material fresado
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
MBQ	Misturas Betuminosas a Quente
MBQR	Misturas Betuminosas a Quente Recicladas
MTD	Profundidade média de textura
NP	Norma Portuguesa
PARP	Plano Ambiental de Recuperação Paisagística
PSS	Plano de Segurança e Saúde
PTV	Coeficiente de atrito pontual – pendulum test value
ROPs	Estrutura de protecção contra capotamento



**Capítulo 1**  
**INTRODUÇÃO**

---









## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Enquadramento

A reciclagem é um tema bastante importante nos dias de hoje, seja qual for a área em que poderá ser aplicada. Cada vez mais temos que proteger o nosso planeta, fonte de diversas matérias-primas.

A reciclagem de pavimentos surgiu na década de 30, contudo só na década de 70 é que despertou o seu interesse, devido à crise do petróleo, possibilitando baixar os custos de fabrico, transporte e aplicação das misturas betuminosas, dado que nesta altura estes valores sofreram um acréscimo brutal.

Das várias técnicas de reciclagem de misturas betuminosas disponíveis, a reciclagem a quente em central, constitui uma das soluções mais adoptadas na Europa. Em Portugal, tem-se verificado um aumento significativo relativamente à reabilitação e beneficiação rodoviária, surgindo deste modo quantidades bastante significativas de material fresado de pavimentos antigos, sendo estes uma nova fonte de material que se poderá utilizar para a execução de novas misturas betuminosas, fazendo com que haja um reaproveitamento de materiais.

Dado o aumento da escassez de diversas matérias-primas (crude, agregados minerais), e ao excessivo consumo das mesmas (exploração das jazidas), cada vez mais existe uma preocupação mundial pelo desenvolvimento sustentável, havendo a necessidade de otimizar a gestão dos materiais, prolongando o seu ciclo de vida e criando soluções de reabilitação de pavimentos, privilegiando deste modo o recurso a métodos de reciclagem e/ou reutilização dos materiais.

Assim, a necessidade de reabilitar pavimentos é cada vez mais uma obrigação, para contribuir para um meio ambiente de melhor qualidade, permitindo o reaproveitamento de materiais, implementando deste modo uma solução que conduz à eficiência energética, logo, contribuindo para uma diminuição do uso de combustíveis fósseis e consequentemente um equilíbrio entre fontes e consumo.

A reciclagem de pavimentos é uma alternativa económica e ambientalmente sustentável, pois, além de apresentar um destino para o material fresado, apresenta as vantagens do reaproveitamento do agregado e até mesmo do betume e a conservação de energia

## 1.2. Objectivos

Tendo em atenção que actualmente, existe uma forte preocupação com o ambiente, como tal, a reciclagem é um tema bastante debatido nos dias de hoje e cada vez mais de elevada relevância, seja qual for a área de actuação. Assim, a motivação do estudo é contribuir para o incentivo à implementação da reciclagem de pavimentos rodoviários degradados

A utilização de novos materiais em substituição dos materiais existentes, sem que seja verificada a possibilidade de reutilização dos últimos, não é, de forma alguma, uma medida que vá de encontro à redução do consumo crescente dos recursos do planeta. (Silva, L., et al, 2010)

Neste âmbito e tendo em conta esta problemática, que leva à exploração excessiva de pedreiras e de jazidas de petróleo, surgiu a escolha para o desenvolvimento do presente trabalho uma vez que a empresa Pedreiras Sacramento, Lda iria pela primeira vez produzir misturas betuminosas a quente com incorporação de material fresado proveniente da obra que iria sofrer beneficiação, logo iria contribuir para a RECICLAGEM.

O Principal objectivo deste trabalho foi o estudar e obter uma formulação de uma nova mistura betuminosa a quente incorporando 30% de material fresado, proveniente da obra a sofrer beneficiação, que cumpra os requisitos impostos no Caderno de Encargos da Obra e apresente um desempenho satisfatório em comparação com as das misturas tradicionais.

Para atingir o objectivo do trabalho foi necessário proceder a várias etapas.

A primeira etapa diz respeito aos agregados, uma vez que estes são a componente principal nas misturas betuminosas, cerca de 95%, o que indica que as suas características influenciam em muito o resultado final do produto.

Assim, nesta etapa procedeu-se à caracterização dos agregados, que são provenientes da Pedreira Sacramento. Para tal realizam-se os ensaios laboratoriais exigidos no Caderno de encargo da Obra.

Os agregados das misturas betuminosas devem possuir determinadas características físicas, químicas, geométricas e mecânicas, de forma a garantir o bom comportamento das misturas e consequentemente do pavimento após aplicado.

A segunda etapa corresponde à caracterização do material fresado, material que é proveniente da obra que irá sofrer beneficiação (Beneficiação da EN1 entre o IP5 e

Albergaria-A-Nova – Estradas de Portugal, S.A.). Para tal realizou-se os ensaios laboratoriais exigidos no Caderno de encargo da Obra.

A terceira etapa corresponde ao estudo da mistura betuminosa, utilizando-se o Método Marshall, para obtenção das percentagens relativas de cada componente da mistura (fórmula) a introduzir na central Betuminosa e posteriormente verificar se a mistura produzida cumpre com os requisitos exigidos no Caderno de encargo da Obra.

A quarta etapa corresponde à produção da mistura e controlo da qualidade da mesma. Para tal realizou-se os ensaios laboratoriais exigidos no Caderno de encargo da Obra.

A última etapa corresponde à aplicação em obra da nova mistura, começando pela execução de um trecho experimental e por fim a sua aplicação propriamente dita. Para tal executaram-se alguns ensaios in situ, nomeadamente a Mancha de areia e Pendulo britânico, conforme exigido pelo dono de obra, no caso as Estradas de Portugal, S,A, para verificação do cumprimento dos requisitos exigidos no CE.

### **1.3. Conteúdo da dissertação**

A presente dissertação encontra-se organizada em 5 capítulos, cujo conteúdo se sintetiza nesta secção.

No **capítulo 1** faz-se o enquadramento do tema em estudo, posteriormente define-se o objectivo do trabalho e finalmente apresenta-se o conteúdo da dissertação.

No **capítulo 2** faz-se a caracterização da **Pedreira Sacramento**, uma vez que os agregados a utilizar na execução das misturas betuminosas são desta exploração e as misturas a aplicar na obra são fabricadas na pedreira, que possui uma central de misturas betuminosas a quente.

Começa-se por localizar e descrever a zona da pedreira. Faz-se uma descrição da história da pedreira. Refere-se o método de exploração do granito; os riscos e precauções a ter em atenção referidos no plano de segurança e saúde (PSS) e no plano ambiental de recuperação paisagística (PARP). Por fim descreve-se todos os processos produtivos das centrais existentes na Pedreira: Central de britagem, central de misturas betuminosas e central de betão.

No **capítulo 3** faz-se referência ao controlo da qualidade (a qualidade hoje em dia é obrigatória, os materiais da pedra possuem Marcação CE), a importância da marcação CE nos produtos para a construção, quais as referências normativas para atribuição da marcação CE, tanto para os agregados como para as misturas betuminosas. Por fim apresenta-se os planos de ensaios obrigatórios a realizar aos agregados e misturas betuminosas para serem produtos com marcação CE.

No **capítulo 4** apresenta-se os diversos tipos de pavimentos rodoviários, quais são as suas funções e que tipos de degradações podem apresentar. Neste capítulo faz-se alusão à técnica da reciclagem, que tipos existem, contudo apenas se desenvolve a técnica em central descontínua, uma vez que se trata da técnica utilizada no caso em estudo. Também neste capítulo se apresenta o estudo efectuado por Baptista, A. (2006), que aborda a avaliação das características mecânicas de misturas recicladas a quente em central.

No **capítulo 5** apresenta-se o caso em estudo. Realiza-se o estudo para a formulação da mistura AC14bin35/50 com 30% de material fresado.

Começa-se pela caracterização dos materiais utilizados (agregados, filler, betume e fresado), posteriormente caracteriza-se a mistura e determinação do teor óptimo de betume para a mistura final, utilizando o método Marshall.

Após determinada a fórmula da mistura, faz-se a transposição da mesma para a central de betuminosos a fim de verificar se os valores estão conformes.

Em obra executa-se um trecho experimental, e apresentam-se os dados dos ensaios realizados na amostra e nos carotes.

Apresenta-se também o resultado relativamente à macro e microtextura do pavimento, através dos ensaios de mancha de areia e do pendulo britânico.

Por fim, apresenta-se a análise dos resultados finais do estudo.

No **capítulo 6** faz-se um resumo das principais conclusões obtidas com este trabalho, perspectivando-se o desenvolvimento de futuros trabalhos.

**Capítulo 2**

**PEDREIRAS SACRAMENTO - CARACTERIZAÇÃO**









## **2. PEDREIRA SACRAMENTO - CARACTERIZAÇÃO**

### **2.1. Localização**

A empresa Pedreiras Sacramento, Lda. explora a “Pedreira de Granito nº 4265 “Sacramento nº 3”. A sede da empresa encontra-se localizada nas instalações da empresa do grupo “Manuel Francisco de Almeida SA”, sita no lugar de Travanca, nº47 – Oliveira de Azeméis.

Toda a actividade administrativa encontra-se instalada na sede da empresa, inclusivamente a administração. Na zona de exploração, apenas está localizada a área de extracção de agregados e produção de betão hidráulico e misturas betuminosas, bem como a manutenção e a expedição.

A zona de exploração fica situada a 1000 m a sul da povoação de Travanca e a 4km a sul do Concelho de Oliveira de Azeméis, Distrito de Aveiro, do lado nascente da via Lisboa - Porto.

Encontra-se em zona de mato e pinhal e faz parte da extensão abrangida pela folha nº. 164, referenciada na carta militar de Portugal, à escala 1/25000 dos serviços cartográficos do exército. Tem uma área total de 97 860 m<sup>2</sup> com os limites definidos pelos vértices referenciados em coordenadas rectangulares planas, do sistema Hartford-Gauss referidas ao Ponto Central.

Está situada no lugar da Quintã, freguesia de Travanca Oliveira de Azeméis. O acesso é efectuado a partir da EN1, ao km 260 (do lado nascente) e pela Rua da Quintã (lado sul).

A empresa Pedreiras Sacramento, Lda. é constituída pela frente de desmonte, uma central de britagem, uma central de betão hidráulico e uma central de betão betuminoso a quente, com possibilidade de produção de misturas betuminosas recicladas e uma central de produção de betuminoso a frio.

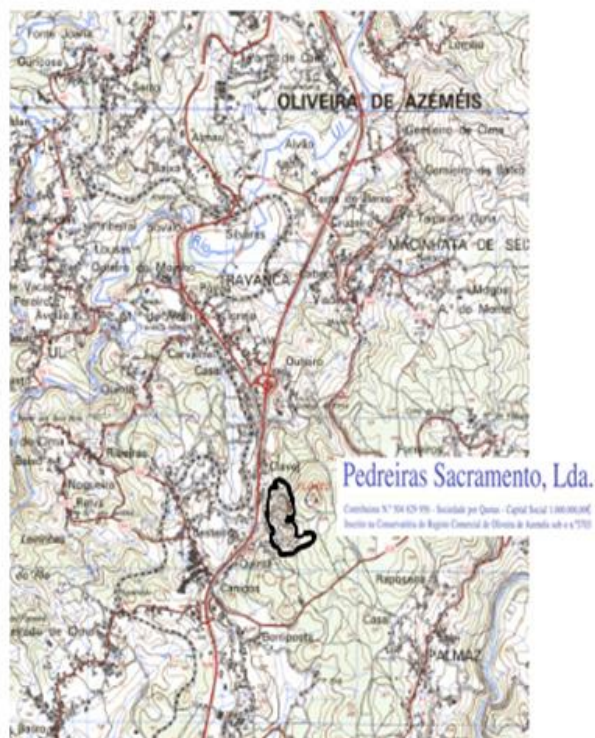


Figura 2.1 - Localização da Pedreiras Sacramento (extracto da carta militar n.º 164)



Figura 2.2 - Acesso à Pedreira Sacramento (retirado do Google maps, Outubro 2012)

## 2.2. Breve resumo histórico da Pedreira



Figura 2.3 - Placa de entrada da Pedreira (foto da autora)

A Pedreira n.º. 4265 – Sacramento n.º3 foi declarada em 1979, mantendo-se desde então em lavra activa, passando desde Março de 1983 para a tutela da Câmara Municipal de Oliveira de Azeméis.

A esta data, a pedreira é explorada pela empresa (em nome individual) Manuel Francisco de Almeida que foi o seu fundador.

Em 28 de Dezembro de 1990 foi emitida autorização de laboração da britadeira, i é “oficina n.º237- I – Quebra, britagem e classificação de pedra (2901.5 – 2ª classe)” do local “Pedreira n.º4265 - Sacramento n.º3”, pelo Ministério da Indústria e Energia – Direcção Geral de Geologia e Minas (Direcção de Serviços da Região do Porto).

Em Abril de 1993 foi elaborado um estudo de impacte ambiental (EIA) e um plano de lavra a céu aberto, por degraus direitos, (como preconiza a legislação de referência), cujo objectivo foi analisar, de um modo formal e sistemático, o meio em que se insere a exploração de granito da empresa Manuel Francisco de Almeida. Esta análise, permite a caracterização dos potenciais impactes que esta indústria pode ter nos recursos naturais locais. Este estudo foi elaborado no âmbito do licenciamento industrial da Pedreira N.º4265 - Sacramento n.º.3, em virtude de ter excedido os limites de área (5ha) previstos na alínea a)

do nº2 do artigo 18º do Decreto Lei 89/90 de 16/03, que define que é necessária a existência de avaliação de impacte ambiental (AIA).

**Em 11 de Janeiro de 1994** foi concedido o licenciamento do estabelecimento à Pedreira nº4265 – Sacramento nº.3, pelo Ministério da Industria e Energia (Delegação regional do Norte).

**Em 31 de Julho de 2003** é acrescentada à actividade secundária, a construção civil e obras públicas que permite a participação da empresa em concursos para a realização de obras públicas.

**Em 2004** é iniciado o processo de marcação CE dos agregados extraídos das diversas frentes de desmonte e britados na central de britagem, devido a imposição legal, como consequência da adopção pelo Conselho das Comunidades Europeias da directiva nº. 89/106/CEE de 21 de Dezembro de 1988 designada como “Directiva dos Produtos da Construção”, posteriormente alterada pela directiva 93/68/CEE de 23 de Junho de 1993, e transposta para o direito nacional pelo Decreto-Lei 113/93 de 10 de Abril e Portaria 566/93 de 2 de Junho.

O período de coexistência com as normas nacionais, termina em 01/06/2004 (data da retirada de especificações técnicas nacionais incompatíveis, vigorando a partir de então as especificações europeias harmonizadas).

No Dec. Lei nº122 de 25 Maio de 2004 (despacho nº 10222/2004 2ª Série) é publicada a lista de normas harmonizadas, bem como os respectivos sistemas de avaliação da conformidade adoptada no âmbito da directiva 89/106/CEE, respeitante aos agregados - Sistema 2+.

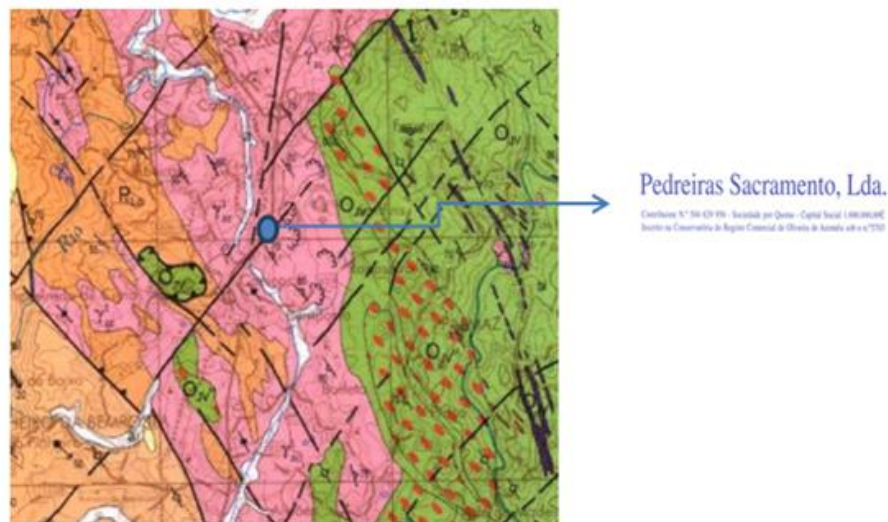
**Em 2005** é atribuída a marcação CE aos agregados produzidos e comercializados pelas Pedreiras Sacramento, Lda, segundo as normas de referência NP EN 12620; EN 13043 e EN 13242 de acordo com o sistema 2+, pelo organismo notificado pela comunidade europeia – EIC – Empresa internacional de Certificação.

**Em 2008** foi dado início ao processo de marcação CE das misturas betuminosas produzidas por esta central. Uma actividade que se estendeu por 2008, tendo prevista a realização da auditoria externa em Novembro de 2008, tendo sido atribuída a marcação CE das misturas betuminosas.

**Periodicamente** são efectuadas auditorias ao sistema de controlo da produção em fábrica, de forma a evidenciar a continuidade da marcação CE nos agregados produzidos, bem como na marcação CE das misturas betuminosas.

### 2.3. Enquadramento Geológico

A zona onde se localiza a Pedreira nº. 4265 – Sacramento nº3 encontra-se representada na Folha 13D (Oliveira de Azeméis) da Carta Geológica de Portugal na escala 1:50 000 (Pereira *et al.*, 2007).



**Legenda:**

Granitóides da faixa blastomilonítica de Oliveira de Azeméis	Granitóides variscos precoces e/ou ante-variscos		Granito e granodiorito gnáissico, de duas micas, de grão médio
			Ortognaisse albitico-moscovítico com blastese de feldspatos
			Ortognaisse albitico-moscovítico-biotítico com estruturas reliquias dobradas

**Figura 2.4 - Localização geológica da Pedreiras Sacramento, Lda (extracto Folha 13-D - Oliveira de Azeméis – da Carta Geológica de Portugal na Escala 1:50000; Pereira *et al.*, 2007)**

As litologias presentes na referida pedreira foram cartografadas, no trabalho citado, como “granito e granodiorito gnáissico, de duas micas, de grão médio”, tendo sido incluídas na categoria dos granitóides variscos precoces e/ou ante-variscos da Faixa Blastomilonítica de Oliveira de Azeméis.

Estas rochas contactam com metassedimentos da formação de São João de Ver (a que se atribui idade do Ordovícico Inferior), a leste, e das unidades de Lourosa e de Arada (ambas consideradas do Proterozóico), a oeste (Pereira *et al.*, 2007).

A massa principal do maciço de Oliveira de Azeméis é constituída por granitos gnáissicos que se dispõem desde S. João da Madeira até Pinheiro da Bemposta. No sector oriental, os contactos dos granitos gnáissicos com o encaixante metassedimentar são, regra geral, nítidos; no flanco ocidental, no entanto, para norte de Pinheiro da Bemposta, a individualização dos corpos graníticos torna-se difícil pela existência de zonas migmatíticas na transição granito-metassedimento (Pereira *et al.*, 2007). Com base em observações efectuadas em algumas pedreiras na área de Oliveira de Azeméis, Pereira *et al.* (2007) concluíram que os granitóides são estruturalmente heterogéneos, apresentando-se ora com aspecto maciço, ora revelando uma anisotropia planar bem desenvolvida, com direcção N30°-40°W e pendor 70°-80°NE ou subvertical. As superfícies planares testemunham, frequentemente, terem sido intensamente reactivadas, podendo observar-se estrias mergulhando geralmente 30°-35° S. As estruturas planares são particularmente conspícuas no sector meridional do maciço de Oliveira de Azeméis, nomeadamente nas pedreiras da zona de Travanca (Pereira *et al.*, 2007), como é o caso das Pedreiras Sacramento nº 3.

Mais recentemente, foram efectuados novos trabalhos incidindo em litologias da pedreira Sacramento nº 3 e das áreas imediatamente envolventes (Santos *et al.*, 2012; Silva, 2013; Oliveira, em curso). Estes trabalhos vieram revelar que, nesta pedreira, afloram não só granitos como também a sua transição migmatítica para o encaixante metassedimentar. Os granitos de duas micas, com estruturas S-c, e testemunhando cisalhamento direito ao longo de direcção NNW-SSE, predominam no sector setentrional da pedreira, mas, para sul, dão lugar a fácies migmatíticas (quer de diatexitos, quer de metatexitos), em que, por vezes se encontram veios muito claros de composição trondjemítica.

Esta variação geológica entre os sectores norte e sul da pedreira, não identificada na cartografia à escala 1:50000, será a causa provável das diferenças das características dos materiais obtidos num e noutro local (Santos, informação verbal), os quais até têm sido designados informalmente, por quem trabalha na pedreira, como “granito azul” (material do sector norte, onde predominam as rochas de facto graníticas, em sentido estrito) e

“granito castanho” (material do sector sul, onde, na realidade, afloram fácies migmatíticas). Oliveira (trabalho em curso) apresentará em breve uma cartografia pormenorizada da área que incorpora esta pedreira.

Segundo o trabalho de Silva (2013), o granito da pedreira apresenta uma textura milonítica, em que se reconhece uma foliação (planos S) afectada por cisalhamento dúctil (planos c), e tem uma composição mineralógica em que predominam quartzo, feldspato alcalino e plagioclase, sempre acompanhados por proporções significativas de moscovite e biotite, bem como ainda por outros minerais, em proporções reduzidas, tais como opacos, apatite, zircão e topázio. Apesar de a alteração ser, em geral, pouco importante, podem-se ainda identificar, segundo o mesmo trabalho, clorite e sericite, substituindo parcialmente a biotite e os feldspatos, respectivamente.

As litologias migmatíticas, como é de esperar, são significativamente mais heterogéneas, sendo de sublinhar que correspondem à transição entre o granito e micaxistos com silimanite, granada e cordierite (Santos *et al.*, 2012; Silva, 2013). Silva (2013) apresenta descrições petrográficas pormenorizadas de algumas fácies migmatíticas amostradas na pedreira Sacramento nº 3.

#### **2.4. Metodologia da Exploração**

A exploração da pedreira, tem vindo a ser desenvolvida com base em critérios de segurança, economia, bom aproveitamento do maciço e protecção ambiental.

Dado que toda a zona de extracção já sofreu as necessárias operações de desmatação e decapagem das terras vegetais, assim como de remoção da camada superficial da rocha fracturada e alterada (solos de cobertura), que não apresentam qualquer valor económico, os designados “trabalhos preparatórios” para início de uma exploração já se encontram ultrapassados, pelo que não serão descritos nesta dissertação.

No entanto, essas terras e solos foram oportuna e devidamente armazenadas, em locais próprios dentro do perímetro da pedreira, para posteriormente serem utilizados (na recuperação paisagística da pedreira).

Assim, e seguidamente apenas se descrevem as operações relacionadas com a extracção propriamente dita:



### 2.4.1.Furação

Consiste na abertura de uma sequência de furos inclinados, realizados mecanicamente por um Roc 542 HP 01 F.U. (Atlas Copco), figura 2.5, com diâmetro e profundidades pré-estabelecidas, que são executados no maciço granítico a extrair (**frente de desmorte**).



Figura 2.5 - Roc Atlas Copco (foto da autora)

O objectivo desta furação é permitir o carregamento dos furos com explosivos e sequente detonação (**pega de fogo**), para assim se proceder ao respectivo desmorte.

### 2.4.2. Desmorte

O Desmorte consiste no arranque da massa mineral, que neste tipo de exploração faz-se por meio de pegas de fogo. Para tal, é previamente estabelecido um diagrama de fogo, que obedece a critérios e factores - tais como: características do maciço rochoso, propriedades do explosivo, diâmetro, profundidade e inclinação dos furos e carga da pega de fogo – que determinam a concepção e eficiência da mesma.

Do desmorte com explosivos, resultam bancadas/degraus que apresentam alturas máximas de 9 m e largura mínima de 5 a 6 m, com respectiva inclinação de 3:1, aproximadamente, de forma a permitir que os equipamentos possam circular com facilidade e segurança.

Tendo em conta o equipamento de perfuração existente e as características da exploração, de um modo geral e desde que a natureza da rocha o permita (poderá haver qualquer alteração tendo em vista a segurança), está a ser aplicado o seguinte diagrama de fogo (tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Diagrama de fogo da pedraira

DIAGRAMA DE FOGO	
Diâmetro do furo	$\varnothing=64$ mm
Comprimento do furo	H=10,40 m
Inclinação do furo	I=15°
Altura da bancada	K=5,0 m
Largura da bancada	L=5,0 m
Afastamento	V1=2,5 m
Espaçamento	E1=3,2 m
Número de furos/pega	10
Carga de fundo (gelamonite)	Qf=10,30 Kg
Carga de coluna (amonite)	Qc=6,30 Kg
Atacamento	H0=3,0 m
Explosivo/furo	Qt=16,60 Kg
Carga específica	q=0,230 Kg/m <sup>3</sup>
Quantidade de explosivo/pega	166,0 Kg
Microrretardos (cápsulas)	25 mseg.
Volume de rocha desmontada/furo	72 m <sup>3</sup>
Volume de rocha desmontada/pega	720 m <sup>3</sup>

De seguida apresenta-se esquematicamente, o diagrama de fogo adoptado.

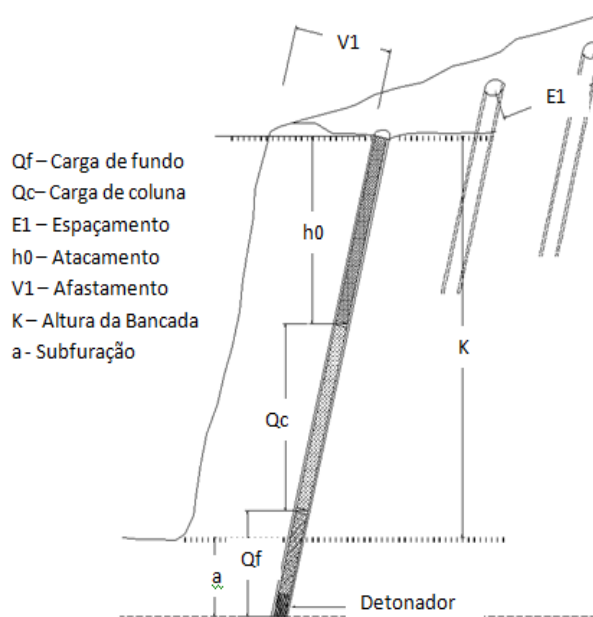


Figura 2.6 - Corte esquemático de um furo

Devido às características graníticas da rocha da pedreira, para a sua exploração, são utilizados explosivos á base de gelamonite com 33% nitroglicerina (como carga de fundo) e amonite (como carga de coluna).



**Figura 2.7 - Material explosivo utilizado e etapas de carregamento de um furo (foto da autora)**

O plano de fogo, aprovado pelas entidades oficiais é devidamente cumprido e regularmente actualizado.

Dado o tipo de pegas de fogo que se praticam na exploração em causa, com a utilização de macroretardos e um bom funcionamento dos mesmos, não se têm verificado incómodos ou prejuízos a terceiros, resultantes desta operação. No entanto, é efectuado o controlo das pegas de fogo através da medição das vibrações em todos os rebentamentos efectuados e elaborado o respectivo registo em documento próprio (disponível para consulta de entidades internas e externas).

São respeitadas as normas sobre o emprego de substâncias explosivas e é feito um saneamento das frentes de desmonte, após as pegas de fogo, de acordo com legislação em vigor. A empresa não armazena explosivos, sendo que estes fornecimentos do tipo “Just-in-time”.

### 2.4.3. Remoção, Carga e Transporte

Após o desmonte por explosivos, os blocos que possuem dimensões superiores às da tremonha do britador primário são objecto de taqueio através de meios mecânicos (com recurso à utilização de um martelo quebrador), sendo depois removidos, juntamente com o restante material granítico desagregado, por uma pá escavadora para um dumper, que os transporta para a instalação industrial de britagem.

De seguida apresenta-se de forma esquemática a descrição do método de exploração empregue:

#### FLUXOGRAMA PRODUTIVO

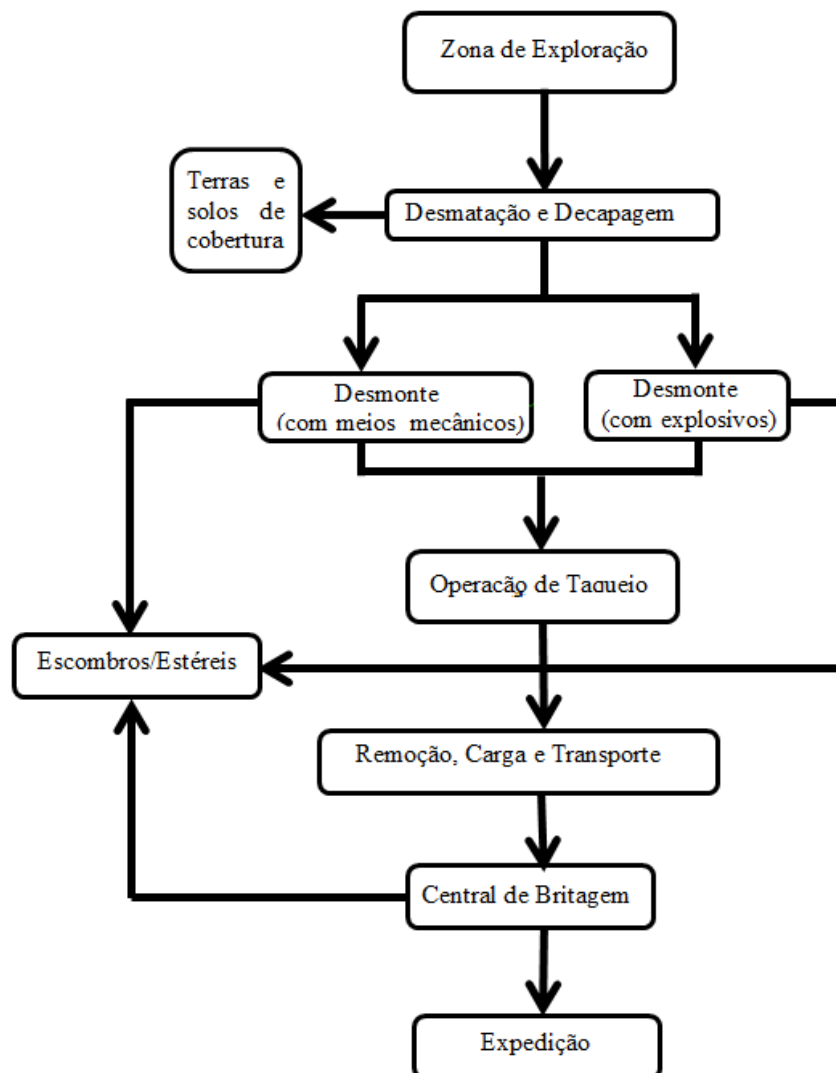


Figura 2.8 - Fluxograma Produtivo da Pedreira (Documentação interna das Pedreiras Sacramento, Lda, 2011)

## **2.5. Plano de Segurança e Saúde (PSS)**

### **2.5.1. Obrigações da empresa**

O PSS é identificado no regime legal como o principal instrumento de prevenção dos riscos profissionais nas pedreiras.

Esses riscos, por vezes traduzem-se em acidentes de trabalho, uma realidade cada vez mais presente no mundo do trabalho, dependendo de todos os intervenientes no processo construtivo contribuir para a diminuição da sua frequência, através de uma prevenção eficaz.

Tendo em consideração a especificidade desta actividade, existe um PSS da pedreira, plano esse que visa garantir uma coordenação das diversas operações a desenvolver ao longo do processo industrial, de tal modo que daí resulte a optimização da segurança.

O objectivo desse plano é garantir zero acidentes, objectivo a ser atingido através do cumprimento dos princípios consignados no plano.

A empresa exploradora, deve assegurar aos trabalhadores condições de segurança, higiene e saúde em todos os aspectos relacionados com o trabalho. Assim, deve aplicar as seguintes medidas:

- Procede, na concepção das instalações, dos locais e processos de trabalho, à identificação dos riscos previsíveis, combatendo-os na origem, anulando-os ou limitando os seus efeitos, por forma a garantir um nível eficaz de protecção.
- Planificar a prevenção na pedreira num sistema coerente que tenha em conta a componente técnica, a organização do trabalho, as relações sociais e os factores materiais inerentes ao trabalho.
- Ter em conta, na organização dos meios, não só os trabalhadores, como também terceiros susceptíveis de serem abrangidos pelos riscos da realização dos trabalhos.
- Dar prioridade à protecção colectiva em relação às medidas de protecção individual.

- Permitir unicamente aos trabalhadores com aptidão e formação adequadas, e apenas quando e durante o tempo necessário, o acesso a zonas de risco.

### **2.5.2. Direito e deveres dos trabalhadores**

Aos trabalhadores assiste-lhes o direito à informação actualizada sobre os riscos para a segurança e saúde, á formação adequada sobre a segurança e higiene. Salientamos também as seguintes obrigações dos trabalhadores:

- Cumprir as prescrições de segurança, higiene e saúde no trabalho estabelecidas nas disposições legais ou convencionais aplicáveis.
- Zelar pela sua segurança e saúde, bem como pela das outras pessoas que possam ser afectadas pelas suas acções ou omissas no trabalho.
- Utilizar correctamente, e segundo as instruções transmitidas pelo empregador, máquinas, aparelhos, instrumentos, substâncias perigosas e outros equipamentos e meios postos á sua disposição, designadamente os equipamentos de protecção colectiva e individual.
- Cooperar, na pedreira, para a melhoria do sistema de segurança, higiene e saúde no trabalho.

### **2.5.3. Trabalhos com riscos**

Na tabela 2.2. podemos ver quais as Tarefas mais representativas

**Tabela 2.2 – Resumo das tarefas a realizar na pedreira, riscos e cuidados a ter**

TAREFA	RISCOS	CUIDADOS
<p><u>DECAPAGEM E LIMPEZA</u> Cumprir as prescrições de segurança, higiene e saúde no trabalho estabelecidas nas disposições legais ou convencionais aplicáveis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Quedas;</li> <li>- Inalação de poeiras;</li> <li>- Choque com objectos;</li> <li>- Ruído;</li> <li>- Desabamento ou deslizamento de terras;</li> <li>- Capotamento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar EPI's adequados;</li> <li>- Utilizar equipamento dotado de estrutura de protecção contra capotamento (ROP's) e contra queda de objectos (FOP's);</li> <li>- A altura e a inclinação das frentes de decapagem devem ser inspeccionadas e saneadas antes de se iniciarem os trabalhos, a fim de garantir a ausência de massas ou rochas não consolidadas;</li> <li>- Os patamares e vias de comunicação devem ser construídos com preocupação de estabilidade e com dimensões adequadas aos equipamentos que nele operam;</li> <li>- Verificação e manutenção periódica das máquinas;</li> <li>- Delimitar e/ou sinalizar as bancadas, quando definitivas, assim como todos os caminhos de circulação.</li> </ul>
<p><u>PERFURAÇÃO</u> – Consiste na utilização de um carro de perfuração hidráulico (tipo ROC) para execução de furos na rocha para instalação de cargas explosivas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inalação de poeiras;</li> <li>- Corpos estranhos nos olhos;</li> <li>- Choque com objectos;</li> <li>- Projecção de materiais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar EPI's adequados;</li> <li>- Verificação e manutenção periódica das máquinas;</li> <li>- As imediações dos locais de trabalho devem ser inspeccionadas e saneadas antes de se iniciarem os trabalhos, a fim de garantir a ausência de massa ou rochas não consolidadas;</li> <li>- Em todo o comprimento, o furo deve ser ligeiramente superior ao dos cartuchos usados;</li> <li>- Os furos devem ter localização e orientação que evite o encontro com outros anteriormente executados ou abandonados</li> <li>- Não fazer orifícios demasiado apertados, obrigando por isso à introdução forçada</li> </ul>

		<p>dos cartuchos, que poderá originar uma explosão prematura;</p> <p>- É expressamente proibido retomar a perfuração em furos antigos.</p>
<p><u>TRANSPORTE DE SUBSTÂNCIAS EXPLOSIVAS</u> – Normalmente as substâncias utilizadas são os explosivos, detonadores eléctricos e cordão detonante, sendo o principal risco a explosão dos mesmos sem controlo.</p>		<p>- Desde que o explosivo é entregue na obra até a sua utilização deverá estar sempre sujeito a uma vigilância permanente pela pessoa responsável pelos explosivos, não sendo permitido guardar as sobras de um dia para o outro, a não ser que se disponha de paióis;</p> <p>- Durante o transporte, não permitindo a inclusão na mesma caixa do explosivo e do detonador, sendo essencial que se faça em caixas separadas e que a destinada aos detonadores tenha uma grande resistência ao choque;</p> <p>- Os detonadores serão transportados para o local de utilização, 15 minutos após o carregamento.</p>
<p><u>PREPARAÇÃO DE CARGAS EXPLOSIVAS</u> – Após a perfuração da frente de desmonte, introduz-se os explosivos nos respectivos furos da rocha. Durante o carregamento o risco mais importante é a explosão intempestiva dos explosivos.</p>		<p>- Antes do início do carregamento deve-se retirar do local todas as pessoas não directamente envolvidas na operação;</p> <p>- Imediatamente antes de se dar início ao carregamento vedar e vigiar todos os caminhos de acesso ao local, no sentido de garantir que ninguém estranho à operação entre na zona</p> <p>- O carregamento só poderá ter início quando todos os furos da série estiverem concluídos, excepcionalmente e mediante autorização expressa do responsável dos trabalhos, desde que os furos mediem pelo menos 5 metros entre o furo a abrir e o furo carregado.</p> <p>- Todos os furos, antes de serem carregados, devem ser cuidadosamente limpos;</p> <p>- Numa mesma pega de fogo é obrigatório o uso de detonadores do mesmo fabricante;</p> <p>- Nunca retirar explosivos de um furo, mesmo que a sua explosão não tenha sido tentada;</p>



		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os detonadores deverão permanecer na sua embalagem original até à altura da sua utilização;</li> <li>- Quando a carga é constituída por vários cartuchos explosivos, estes devem em cada furo, ser dispostos topo a topo, com contacto perfeito entre si, ou ligados por cordão detonante quando fiquem intervalados;</li> <li>- Os detonadores devem ser manipulados em ambiente seco e com a maior precaução, não soprando para dentro deles, não deixando cair, nem os Ofricionando entre si ou contra um corpo duro.</li> <li>- O campo electromagnético gerado pelos rádio-transmissores, o tempo instável com ocorrência de trovoada e as linhas aéreas de corrente eléctrica (MT e AT) podem interferir com os detonadores provocando a sua ignição;</li> <li>- Depois de um detonador ter sido ligado ao cordão detonante, este já não pode ser cortado. Os cordões detonantes dum circuito não podem estar em contacto, salvo no ponto de junção;</li> <li>- Delimitar as bancadas, quando definitivas, assim como todos os caminhos de circulação;</li> <li>- O cartucho escorvado deverá ser colocado numa das extremidades da carga e com o fundo do detonador voltado para ela;</li> <li>- Não é permitido introduzir no mesmo furo mais que um cartucho escorvado;</li> <li>- Não é permitido introduzir no mesmo furo explosivo e pólvora.</li> </ul>
<p><u>DETONAÇÃO DOS EXPLOSIVOS</u> – é a fase mais perigosa de todo o processo de desmonte, sendo o maior risco uma explosão descontrolada.</p>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usar EPI's adequados;</li> <li>- Informar os moradores do horário de fogo, assim como os toques convencionais;</li> <li>- Durante a explosão haver uma vigilância relativamente à possibilidade de as pessoas serem atingidas com a projecção de materiais desagregados;</li> </ul>

<p><u>MOVIMENTAÇÃO E TRANSPORTE DE MATERIAIS</u> – Os equipamentos normalmente utilizados na movimentação de terras são veículos pesados entre os quais podemos destacar: camiões, dumpers, pás-carregadoras e escavadoras de rastos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inalação de poeiras;</li> <li>- Tombamento</li> <li>- Capotamento</li> <li>- Queda da máquina</li> <li>- Colisão</li> <li>- Atropelamento</li> <li>- Ruído</li> <li>- Projecção de materiais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os veículos de movimentação de terras deverão possuir estruturas de protecção em caso de capotarem (ROP's), bem como estruturas de protecção contra a queda de objectos (FOP's) ;</li> <li>- Os condutores de equipamentos mecânicos pesados devem conhecer a fundo o equipamento que utilizam;</li> <li>- Tem de zelar pela sua própria segurança, do equipamento e dos outros que trabalham nas imediações ou que por lá circula. Para tal, deve ser conhecedor das regras de segurança a implementar na execução das suas funções. Estas regras ou instruções de segurança deverão ser afixadas nos equipamentos de trabalho;</li> <li>- É totalmente interdita a utilização de máquinas pesadas (ou de outro tipo) por trabalhadores sob o efeito do álcool;</li> <li>- O manobrador-condutor é responsável pela chave de ignição da máquina. É errado abandonar a máquina com a chave de ignição no seu interior;</li> <li>- Verificação da sinalização luminosa e sonora de marcha-atrás;</li> <li>- Nunca transportar pessoas na máquina;</li> <li>- Em declives, utilizar-se o motor para travar;</li> <li>- Manter distâncias suficientes relativamente à periferia das escavações ou taludes, evitando a queda dos equipamentos com consequências graves para os manobreadores e possivelmente, para quem se encontre no local;</li> <li>- Na deslocação em marcha atrás é importante accionar-se um besouro, e verificar a existência de trabalhadores nas imediações;</li> <li>- Assegurar que os manobreadores das máquinas estão habilitados a fazê-lo;</li> <li>- Não permitir a permanência de pessoas na zona de manobra das máquinas.</li> </ul>
---	--	---



## **2.6. Plano Ambiental de Recuperação Paisagística (PARP)**

### **2.6.1. Objectivos**

A exploração de qualquer pedreira conduz sempre a uma importante alteração na paisagem local, que deve ser acautelada e minimizada através da recuperação e integração paisagística da mesma.

Contudo, deve ter-se sempre presente o facto de que medidas como a eliminação das irregularidades e reposição das cotas naturais, embora sejam possíveis do ponto de vista técnico, na prática têm custos proibitivos e inoportáveis.

Assim, o PARP, tem como objectivo definir o conjunto de medidas que deverão ser adoptadas durante as fases de exploração e pós-exploração desta pedreira, projectando para o efeito o modelado final do relevo e a paisagem envolvente.

### **2.6.2. A exploração da pedreira e a recuperação paisagística**

A exploração desta pedreira deve seguir o PARP, minimizando as formas agrestes resultantes da extracção dos materiais e seguindo o modelado do terreno natural.

Em termos de raios visuais do exterior para o interior da área da pedreira, não se antevê um impacte significativo das frentes de exploração ao nível da paisagem, uma vez que o desmonte será feito segundo o modelado natural do terreno, mas principalmente em depressão.

Na reflorestação da área da pedreira serão escolhidas espécies vegetais de acordo com a flora predominante da região, a fim de rapidamente ser criado o ambiente mais conveniente ao desenvolvimento do conjunto vegetal. Para se ter um efeito mais imediato, caso se justifique, poder-se-á proceder a plantações além das sementeiras a executar.

### **2.6.3. Medidas Cautelares**

- **Armazenamento de Terras Vegetais**

Dentro do limite da área da pedreira já existe, um depósito de armazenamento exclusivo das terras vegetais resultantes das anteriores operações de desmatação/decapagem da área de extracção, e que se encontra completamente separado dos estéreis da exploração.

O referido espaço de armazenamento, que se situa numa zona do terreno não sujeito a qualquer tipo de exploração, está fora do percurso de toda a maquinaria envolvida na exploração da pedreira.

- **Armazenamento de Estéreis e Parque de Materiais**

O armazenamento dos estéreis/solos de cobertura e o depósito dos materiais para expedição, encontram-se em espaços distintos, independentes do local de armazenamento das terras vegetais e situam-se em zonas da pedreira não abrangidas pelo avanço futuro da exploração.

Os solos de cobertura (estéreis da exploração) estão a ser armazenados por classes granulométricas, de forma a garantir a estabilidade do aterro/escombreira. Estes materiais serão posterior e faseadamente utilizados no enchimento/recuperação das zonas da pedreira que a seu tempo irão ser desactivadas.

Em termos quantitativos, e considerando as reservas exploráveis ainda disponíveis e a taxa de aproveitamento em materiais comercializáveis, prevê-se que sejam produzidos, até final da vida da pedreira, cerca de 26.250m<sup>3</sup> de estéreis, o que se traduzirá num volume total de aproximadamente 31.500 m<sup>3</sup>.

A este valor, terá de ser adicionado o volume já armazenado desde o início da pedreira, que se calcula em cerca de 56.000 m<sup>3</sup>, pelo que, no final desta exploração, existirão cerca de 87.500 m<sup>3</sup> de estéreis para os trabalhos de recuperação paisagística, o que será suficiente para a proposta de enchimento parcial das duas depressões e taludes originados pela extracção.

Relativamente aos produtos finais, britas, tout-venant, gravilhas, etc., estes são armazenados temporariamente em local próprio antes da sua expedição, sendo no

entanto acondicionados de forma ordenada e segura, de modo a não originar qualquer situação de perigo para a laboração da pedreira e para a circulação de pessoas e viaturas.

#### **2.6.4. Técnicas de Recuperação e Integração Paisagística**

As técnicas de recuperação e integração paisagística consistem, essencialmente, em medidas preventivas que permitirão a melhor integração possível de uma determinada área, em que tenham sido alteradas as suas características naturais, na zona envolvente.

De facto, é possível obter uma recuperação das características locais, através de processos de reflorestação permitindo inclusivamente o repovoamento faunístico da região, assim como utilizar as zonas degradadas para outros fins, aproveitando os espaços com objectivos de integração e ordenamento urbano.

### **2.7. Centrais e Produtos**

Como já foi mencionado anteriormente existem 3 centrais na pedreira.

A exploração da frente de desmonte, e consequente produção de agregados na central de britagem é em 98%, para alimentar as restantes centrais da empresa (1 de betão hidráulico e 1 de betão betuminoso).

Os agregados, as misturas betuminosas e o betão hidráulico produzidos pela empresa, são na sua grande maioria (90% dos casos) para satisfação das necessidades das obras da empresa Manuel Francisco de Almeida SA, que é uma empresa do grupo e detém uma cota de 24,9% da empresa Pedreiras Sacramento, Lda.

#### **2.7.1. Central de britagem**

Trata-se de uma central de agregados descontínua, de marca Extec modelo C, constituída por um britador primário, dois moinhos cónicos (HP 300 e HP 400, Modelos SX, Marca Nordeberg), diversos tapetes rolantes e crivos com aberturas da malha de acordo com o agregado que se pretende produzir. Possui também um crivo móvel de marca powerscreen

e modelo Powergrid, que normalmente é utilizado para efectuar o agregado de granulometria extensa 0/31,5mm.



**Figura 2.9 - Central de britagem (foto da autora)**

Na Pedreira podem ser produzidos agregados de diversas granulometrias, consoante as aberturas das malhas dos crivos que estiverem a ser utilizados.

Podemos definir um agregado como sendo um material granular usado na construção, cuja origem pode ser natural, artificial ou reciclado.

Nas pedreiras são produzidos agregados naturais, isto é, são agregados de origem mineral que apenas são submetidos a tratamento mecânico.

Os agregados artificiais são também agregados de origem mineral mas resultam de um processamento industrial, que envolve modificações térmicas ou outras.

Por fim temos os agregados reciclados, como o próprio nome indica é um agregado que resulta de processamento de material inorgânico já utilizado em construção.

Os agregados produzidos nas Pedreiras Sacramento no âmbito da marcação CE são:

- Agregado 0/4mm
- Agregado britado 4/8mm
- Agregado britado 4/10mm
- Agregado britado 8/16mm
- Agregado britado 11,2/22,4mm
- Agregado britado 22,4/45mm
- Agregado britado de granulometria extensa 0/31,5mm
- Agregado britado de granulometria extensa 0/45mm
- Agregado para enrocamento 90/250mm



Figura 2.10 - Britagem de agregados (foto da autora)

De seguida apresenta-se de forma esquemática o fluxo produtivo da central de britagem, figura 2.11.



**FLUXO PRODUTIVO DA CENTRAL DE BRITAGEM DAS PEDREIRAS SACRAMENTO, LDA**

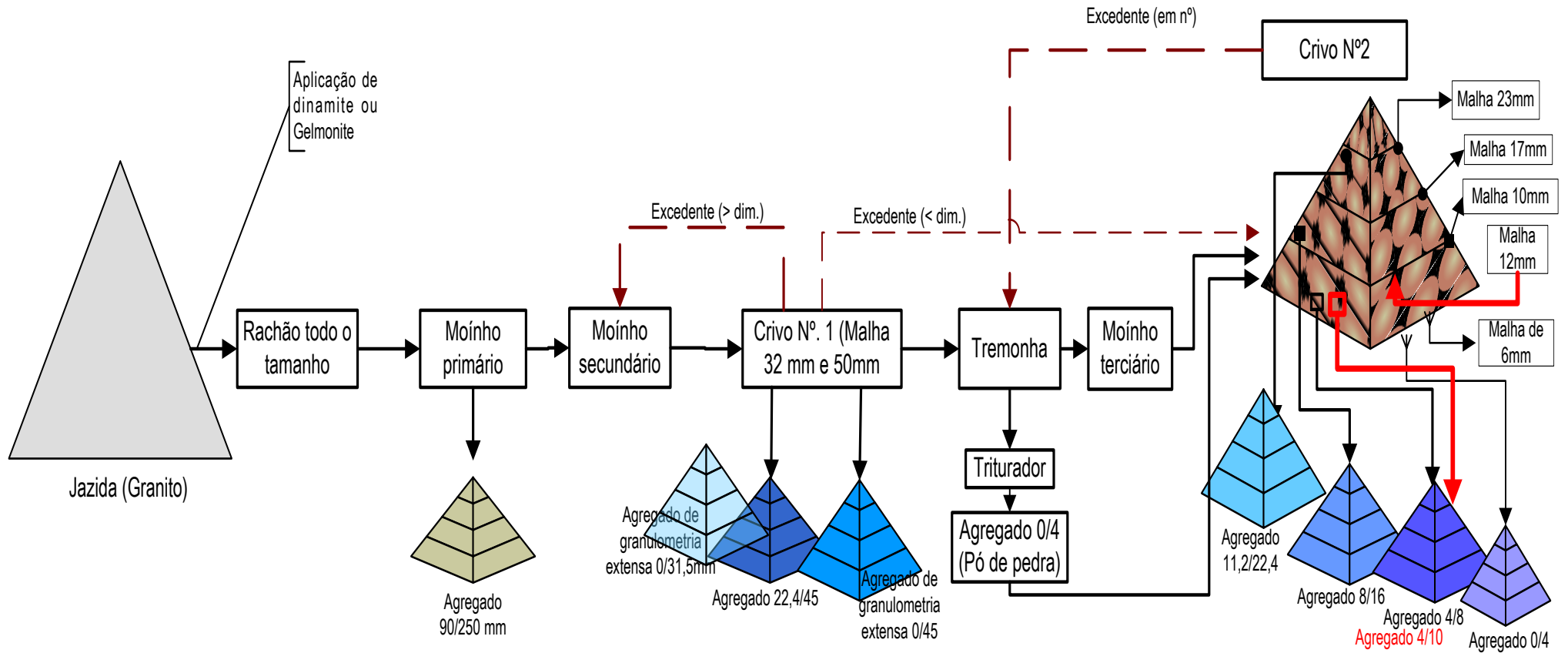


Figura 2.11 – Esquema de fluxo produtivo da central de britagem (Documentação interna das Pedreiras Sacramento, Lda, 2011)

### 2.7.2. Central de misturas betuminosas a quente

Estamos perante de uma Central de asfalto de mistura descontínua de ciclo automático, a quente, de marca Intrame e modelo UM200T, sendo constituída por 4 tolvas T75 de 10m<sup>3</sup> de capacidade cada, 3.4m de altura de carga. Tem um secador de inertes com elevador, filtro de mangas, crivos classificadores e armazenagem sob crivo com 4 compartimentos. A mistura é efectuada num misturador de ciclo automático. Utiliza o silo do betume, do filler recuperado e do filler comercial de 30 ton cada.



Figura 2.12 - Central de misturas betuminosas (foto da autora)

Toda a vigilância da central e controlo de procedimentos de fabrico a efectuada na cabina de comando, onde se encontram os quadros eléctricos, circuitos de comando e potencia, computador, regulador automático do queimador e circuito de limpeza automática do filtro.

A principal característica na produção de misturas betuminosas a quente através de uma unidade transformadora descontínua reside no doseamento dos vários agregados, filler e betume, que se efectua com uma pesagem separada através de balanças electrónicas, num processo que ocorre antes de se efectuar a mistura. Tal processo tem por base uma selecção

rigorosa dos agregados de acordo com as respectivas granulometrias, pela passagem de crivos que garantem assim, que a composição da fórmula se mantenha durante todo o processo de fabricação.

A mistura betuminosa requerida é sujeita a um estudo de formulação (laboratório da MFA SA ou outro devidamente acreditado), onde se definem os diferentes tipos e quantidades de agregados que compõem a mistura, bem como o filler e o betume. Os materiais constituintes da mistura são previamente ensaiados e analisados cumprindo com os requisitos legais em vigor (marcação CE e ensaios de caracterização) e do cliente (Caderno de Encargos).

A fórmula obtida é inserida na central que automaticamente a assume e efectua as dosagens e pesagens sempre que requerido.

A modificação da fórmula para a mistura, permite obter flexibilidade na produção, o que caracteriza cada tipo de Central tanto no método de produção como no processo utilizado para controlo e processamento.

### **Descrição do Processo de fabrico**

Os agregados e pó que constituem a mistura betuminosa são colocados em tolvas de recepção, conforme as suas granulometrias, por meio de uma pá carregadora (1).

Os agregados são então lançados por meio de doseadores colocados no fundo das tremonhas em tapetes transportadores que os encaminham para o tambor de secagem (2). No tambor de secagem dá-se o processo de aquecimento e secagem dos agregados, bem como o despoeiramento destes (3). Atinge-se o aquecimento e a secagem através de um queimador de combustível montado num dos topos do tambor de secagem.

Os agregados, aquecidos e secos, são encaminhados para o elevador de alcatruzes que os eleva até ao crivo de selecção (5).

As poeiras provenientes da secagem são extraídas através do exaustor, juntamente com os gases provenientes do queimador. Estas poeiras são conduzidas através da conduta de aspirador até ao filtro de mangas (4). Parte delas são recuperadas no ciclo de despoeiramento e automaticamente reintroduzidas no processo produtivo através de sem - fim e elevador de alcatruzes (15). As restantes são armazenadas em silos e posteriormente utilizadas noutras produções (12).

No crivo de selecção (6) são separados os agregados por granulometrias e encaminhados para as tolvas de selecção (7), que são descarregadas na balança de pesagem (8). Esta balança efectuará uma pesagem cumulativa, de acordo com as percentagens previamente definidas na formulação da mistura betuminosa.

Atingidas as quantidades pré - estabelecidas para cada granulometria, são os agregados introduzidos no misturador de pás (9)

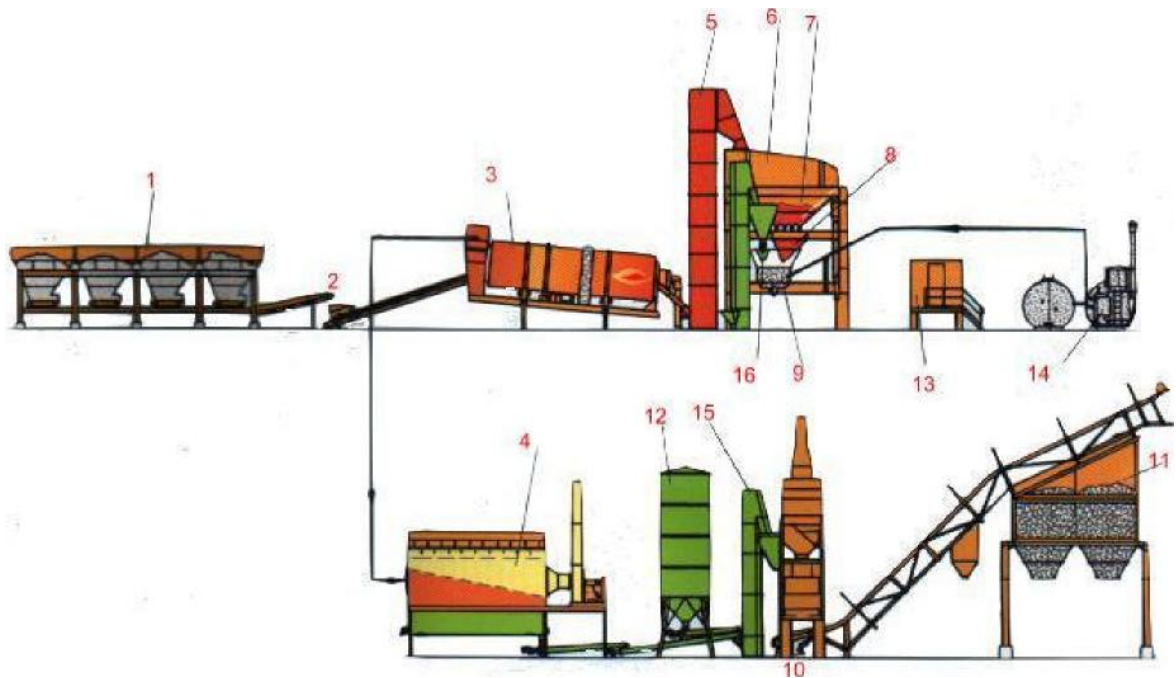


Figura 2.13 - Esquema de uma central de misturas betuminosas a quente descontínua (Documentação interna das Pedreiras Sacramento, Lda, 2011)

Neste misturador de pás será efectuada uma mistura seca durante um certo tempo e uma mistura húmida a partir da injeção do betume, também com duração definida. Apenas quando termina o tempo de amassadura é que é efectuada a descarga do misturador, iniciando-se um novo ciclo. É também no misturador que os agregados são envolvidos pelo betume, introduzido numa quantidade pré - definida obtida através de uma balança, onde se vão juntar o filler recuperado e comercial.

O betume é previamente aquecido e armazenado em tanques (14), sendo depois pesado, permitindo a avaliação da quantidade e injectado através de uma bomba e de tubo munido de injectores, obtendo-se assim uma pulverização uniforme nos agregados.

Após estar concluída a mistura, esta é descarregada directamente nos camiões basculantes. Em alguns casos é necessário introduzir filler comercial na composição da mistura betuminosa, o qual se encontra armazenado num silo e é encaminhado por um senfim para uma balança (16) que efectua a pesagem de acordo com valores pré - definidos (função do estudo efectuado e da fórmula da mistura betuminosa) e o descarrega directamente no misturador.

Todo o processo acima descrito decorre em perfeito sincronismo e o controlo de todos os parâmetros (peso, temperatura, tempo) é feito por um computador e autómato que se encontra na cabina de comando (13) e que é comandado por um operador. É também nesta cabina que se encontram os quadros eléctricos de potência, comando, protecção e controlo. A central é constituída por várias partes cada uma com as suas especificidades.

### **Unidade de Refragmentação reciclagem**

Inicialmente é efectuada a britagem dos agregados que são recepcionados para reciclagem. Estes materiais são principalmente resultado de fresagens do pavimento.

Os materiais são britados no britador móvel e em seguida são incorporados na central de misturas betuminosas a quente para serem crivados e adicionados aos restantes componentes da mistura final.



**Figura 2.14 - Britador móvel (foto da autora)**



Figura 2.15 - Tolva do material reciclado da central de misturas betuminosas (foto da autora)

### Tipos de misturas betuminosas

As misturas betuminosas a quente consistem numa mistura de agregados de diferentes granulometrias, ligante e filler. As misturas betuminosas são efectuadas em função da sua aplicação, diferindo entre si quanto á quantidade e granulometria dos diferentes tipos de agregados, classe, quantidade e tipo do ligante utilizado.

Na pedreira Sacramento produzem-se misturas betuminosas á medida dos requisitos do cliente, no entanto, as que são do âmbito da marcação CE apresentam-se na tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Tipo de Misturas betuminosas e suas aplicações

Designação	Aplicação
AC 32 Base 50/70 (MB) AC 32 Base 35/50 (MB)	Mistura betuminosa a quente para aplicar em camadas de base de espessura, geralmente, igual ou superior a 10 cm
AC 20 reg 50/70 (MB) AC 20 reg 35/50 (MB)	Mistura betuminosa a quente para aplicar em camadas de regularização.
AC 20 reg 50/70 (MBD) AC 20 reg 35/50 (MBD)	Mistura betuminosa a quente para aplicar em camadas de regularização.
AC 14 surf 50/70 (BB) AC 14 surf 35/50 (BB)	Mistura betuminosa a quente para aplicar em camadas superficiais
PA 12,5 Bm-3c (BBd)	Mistura betuminosa a quente para aplicar em camadas superficiais, finas e porosas.
AC32 base 35/50 (MB) com incorporação de elevada % materiais fresados	Mistura betuminosa a quente para aplicar em camadas de base de espessura, geralmente, igual ou superior a 10cm
AC20 reg 35/50 (MB) com incorporação de elevada % materiais fresados	Mistura betuminosa a quente para aplicar em camadas de regularização.
AC 14 bin 35/50 (BB) com incorporação de elevada % materiais fresados	Mistura betuminosa a quente para aplicar em camadas de ligação

**FLUXO PRODUTIVO DA CENTRAL DE MISTURAS BETUMINOSAS A QUENTE DAS PEDREIRAS SACRAMENTO, LDA**

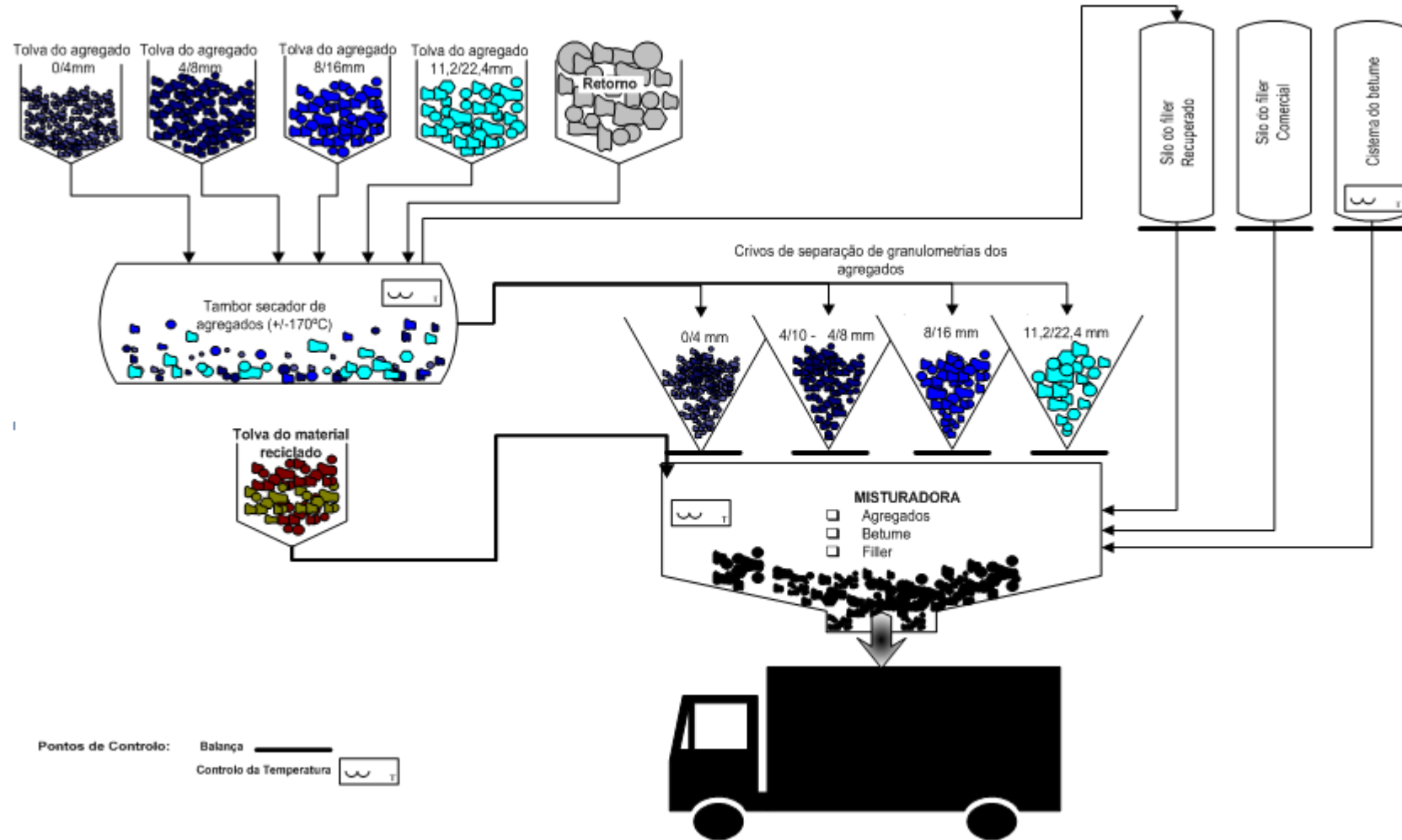


Figura 2.16 – Esquema do fluxo produtivo da central de misturas betuminosas a quente (Documentação interna das Pedreiras Sacramento, Lda, 2011)

### 2.7.3. Central de betão hidráulico

A central de betão hidráulico é descontínua de marca “Bemak”, modelo BL 1500 com capacidade de produção de 63m<sup>3</sup> á hora.



Figura 2.17 - Central de betão hidráulico (foto da autora)

O betão hidráulico consiste numa mistura, a frio, de agregados de diferentes granulometrias com cimento, água e aditivo.



**FLUXO PRODUTIVO DA CENTRAL DE BETÃO DAS PEDREIRAS SACRAMENTO, LDA**

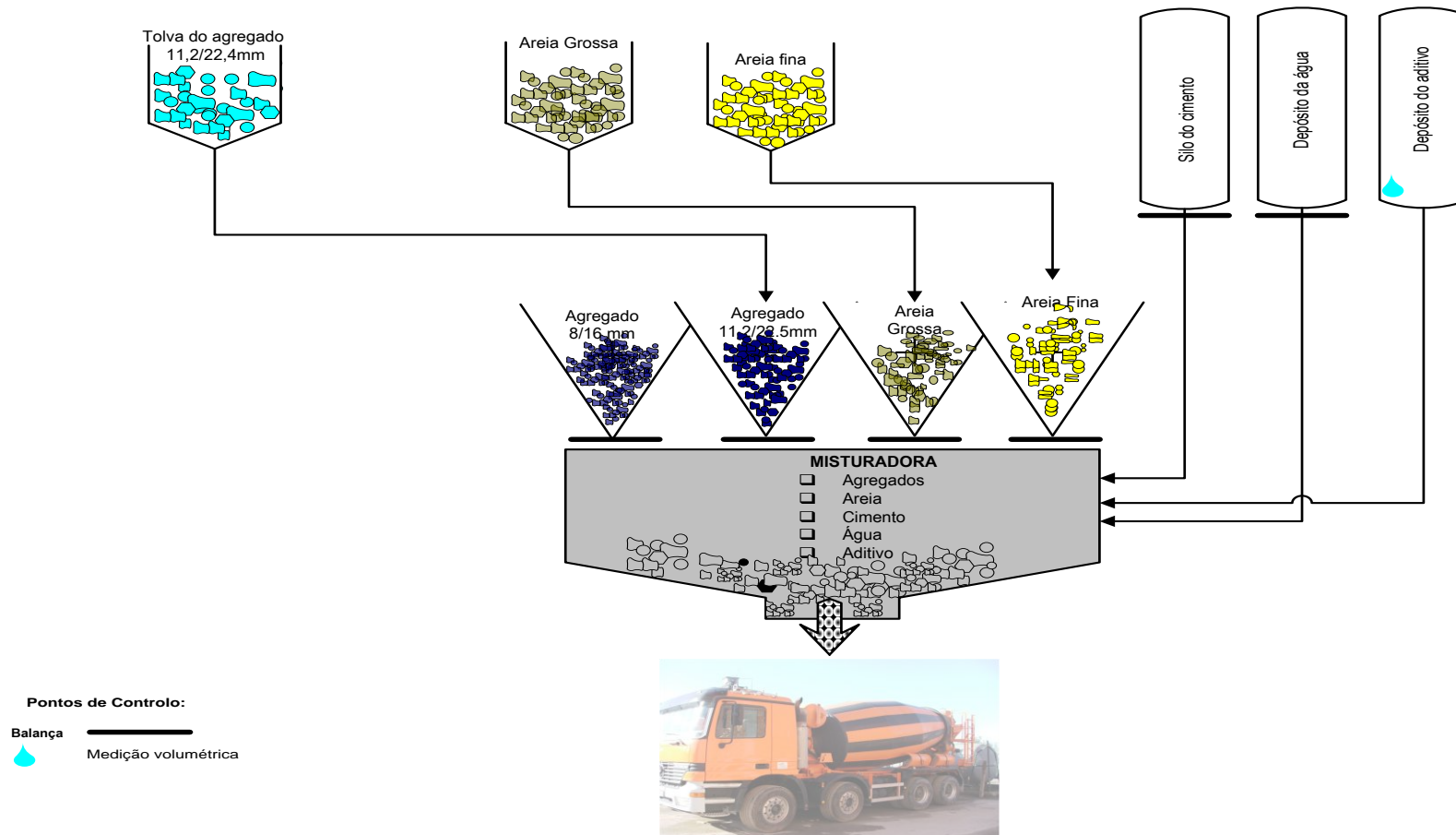


Figura 2.18 – Esquema do fluxo produtivo da central de betão (Documentação interna das Pedreiras Sacramento, Lda, 2011)

## **Capítulo 3**

# **CONTROLO DA QUALIDADE DA PEDREIRA**

---







### 3. CONTROLO DA QUALIDADE DA PEDREIRA

Face à crescente competitividade das indústrias no mercado Europeu, foi necessário a implantação de “regras”, regras essas que terão de ser cumpridas e mantidas, por forma a dar garantias da qualidade dos produtos a aplicar nos diversos trabalhos, daí surgir a marcação CE nos produtos da construção, a qual tem como objectivo assegurar a livre circulação da generalidade deste tipo de materiais na União Europeia, mediante harmonização das legislações nacionais, no domínio dos requisitos essenciais de: saúde, segurança e bem-estar, aplicáveis a estes produtos

Os produtos das pedreiras sacramento, são reconhecidos com Marcação CE

#### 3.1. “MARCAÇÃO CE” nos produtos para a construção (Directiva 89/106/CEE)

O objectivo da marcação CE nos produtos da construção, é assegurar a livre circulação da generalidade deste tipo de materiais na União Europeia, mediante harmonização das legislações nacionais, no domínio dos requisitos essenciais de: saúde, segurança e bem-estar, aplicáveis a estes produtos.

Estas disposições obedecem à directiva dos Produtos para a construção 89/106CEE do Conselho, de 21 de Dezembro de 1988, relativa à aproximação das disposições legislativas, regulamentares e administrativas dos estados-membros, no que respeita aos materiais para a construção.

Esta directiva foi alterada pela 93/68/CEE do Conselho de 22 de Julho de 1993, transposta para a legislação nacional através de Decreto-Lei nº. 113/93 (que por sua vez foi revogado pelo Decreto-Lei 4/2007 de 8 de Janeiro) e Portaria 566/93 (Revogada pelo DL4/2007), que estabelecem os procedimentos a adoptar, com vista a garantir que os materiais de construção se revelam necessários à sua colocação no mercado, assim como à avaliação da conformidade com vista à marcação CE. No entanto a directiva 89/106/CEE vai ser revogada pelo regulamento (EU) nº 305/2011, em 2013.

**A responsabilidade pela colocação da marcação CE nos produtos é do produtor.**

Esta marca ao ser aplicada num produto, significa que este cumpre os requisitos essenciais previstos no anexo I da Directiva dos Produtos da Construção e que são os seguintes:

- Resistência mecânica e estabilidade
- Segurança contra incêndios
- Higiene, saúde ambiente
- Segurança na utilização
- Protecção contra o ruído
- Economia de energia e retenção de calor

A marcação CE colocada nos produtos, demonstra que estes estão em conformidade com todos os requisitos aplicáveis previstos na Directiva dos Produtos da Construção/regulamento, que cumprem os requisitos definidos nas normas harmonizadas referentes a cada produto e que foram submetidos aos procedimentos de avaliação da conformidade previstos na Directiva dos Produtos para a Construção e que os cumprem na totalidade.

**3.2. Referências normativas para atribuição da “Marcação CE” nos agregados e misturas betuminosas produzidos pelas Pedreiras Sacramento, Lda.**

Em função da utilização final dos produtos, a empresa seleccionou as normas de referência a cujos critérios tem de dar cumprimento, para que seja colocada e mantida a marcação CE nos respectivos produtos:

**3.2.1. No caso dos agregados**

- **Norma NP EN 13043 - 2004** - Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação.
- **Norma EN 13242:2002+A1 - 2007** - Agregados para materiais tratados com ligantes hidráulicos e materiais não tratados, utilizados em trabalhos de engenharia civil e construção rodoviária.

- **Norma NP EN 12620:2002+A1-2010** - Agregados para betão
- **Norma EN 13383:1-2002** - Agregados para enrocamento

### **3.2.2. No caso de Misturas Betuminosas**

- **Norma EN 13108:1 – 2006** Asphalt concrete – Betão betuminoso – Especificação dos materiais.
- **Norma EN 13108:7 – 2006** - Porous Asphalt – Asfalto poroso (drenante) – Especificação dos materiais
- **Norma EN 13108:20 - 2008** – Misturas Betuminosas – Especificações dos materiais – Ensaio de tipo
- **Norma EN 13108:21 - 2008** – Misturas Betuminosas – Especificações dos materiais – Controlo da Produção em Fábrica

Os critérios a cumprir respeitam ao controlo do produto, com ensaios iniciais de produto, definidos nos anexos ZA de cada norma e na norma EN 13108-20 (no caso das misturas betuminosas, ensaios e critérios de controlo da produção Industrial, definidos nos anexos respectivos a cada norma e na norma EN 13108:21).

### **3.3. Planos de Inspeção e Ensaio agregados e misturas betuminosas produzidos pelas Pedreiras Sacramento, Lda**

Para que os Produtos tenham a Marcação CE, é obrigatório haver o controlo da produção em fábrica, que consiste na realização de num determinado nº de ensaios, ensaios esses, previstos nas normas de referência, para que os produtos tenham marcação CE

De seguida apresentam-se os planos de inspeção e ensaio para os agregados e misturas betuminosas realizados pela empresa.



**PLANO DE ENSAIOS DE AGREGADOS - MARCAÇÃO CE**

Tabela 3.1 - Plano de Ensaios de Agregados – Marcação CE

Tipo de Ensaio	Ensaios a realizar		Norma de referência	Agregado a ensaiar	Norma de referência NP EN 13242		Norma de referência .NP EN 13043		Norma de referência NP EN 12620	
					Apresentação do resultado	Frequência	Apresentação do resultado	Frequência	Apresentação do resultado / critérios	Frequência
CONTROLO DA PRODUÇÃO EM FÁBRICA	Granulometria		EN 933:1	Todos	Categoria	1x Sem	Categoria	1x Sem	Categoria	1x Sem
	Forma do agregado grosso	Índice de achatamento	EN 933:3	Agregado Grosso	Categoria-FI		Categoria-FI	1x M	Categoria-FI / FI <sub>50</sub>	1x M
		Índice de forma	EN 933:4	Agregado Grosso	Categoria-SI	1x M	Categoria-SI	1x M	Categoria-SI	1x M
	% de partículas britadas		EN 933:5	Agregado grosso	Categoria C	1x M	Categoria C	1xM	_____	___
	Massa volúmica		EN 1097:6	Todos	Valor declarado	1x A	Valor declarado	1x2 A	Valor declarado	1x A
	Teor em finos		EN933:1	Todos	Categoria f <sub>valor</sub>	1x Sem	_____	_____	Categoria: f <sub>4</sub> - Ag. grossos f <sub>11</sub> - AGE f <sub>22</sub> - Ag. fino	1x Sem
	Qualidade dos finos (Teor de finos>3%)	Equivalente de areia	EN 933:8	0/4; AGE 0/31,5; AGE 0/45	Limite - Valor declarado (SE)	1x Sem	Categoria-SE	2x Sem	SE ≥80 (Anexo D)	1x Sem
		Azul-de-metileno	EN 933:9	0/4; AGE 0/31,5; AGE 0/45	Limite - Valor declarado (MB)	1x Sem	Categoria-MB <sub>F</sub>	2x Sem	MB ≤6,0g/kg de finos	1x Sem
	Angulosidade do agregado fino		EN 933:6	Agregado fino	_____	_____	Categoria	1Xm	_____	-----
	Resistência á fragmentação (LA)		EN 1097:2	Agregado Grosso	Categoria-LA <sub>valor</sub>	2x A	Categoria-LA <sub>valor</sub>	1x A	LA <sub>50</sub>	2x A
	Resistência ao desgaste (M.Dev.)		EN 1097:1	Agregado para camadas de desgaste	Categoria-M <sub>DE</sub> Valor	2x A	Categoria-M <sub>DE</sub> Valor	1x A	Categoria-M <sub>DE</sub> Valor	1x2A

**PLANO DE ENSAIOS DE AGREGADOS - MARCAÇÃO CE**

Tabela 3.2 - Plano de Ensaios de Agregados – Marcação CE

Tipo de Ensaio	Ensaios a realizar	Norma de referência	Agregado a ensaiar	Norma de referência NP EN 13242		Norma de referência .NP EN 13043		Norma de referência NP EN 12620	
				Apresentação do resultado	Frequência	Apresentação do resultado	Frequência	Apresentação do resultado / critérios	Frequência
CONTROLO DA PRODUÇÃO EM FÁBRICA	Absorção de água	EN 1097:6	Todos	Valor declarado	1x A	Categoria	1x 2 A	Absorção ≤5%	1x A
	Resistência ao gelo-degelo	EN 1367:1 EN 1367:2	Todos	Categoria-F <sub>valor</sub>	1x 2 A	Categoria-F <sub>valor</sub>	1x 2 A	Categoria-F <sub>valor</sub>	1x 2 A
	Resist. ao polimento acelerado (PSV)	EN 1097:8	Agregado para camadas de desgaste	_____	-----	Categoria-PSV <sub>valor</sub>	1x A	Categoria-PSV <sub>valor</sub>	1x 2 A
	Resist. á abrasão superficial	EN 1097:8	Agregado para camadas de desgaste	-----	-----	Categoria-AAV <sub>valor</sub>	1x A	Categoria-AAV <sub>valor</sub>	1x 2 A
	Resist. á abrasão por peneus de pregos	EN 1097:9	Agregado para camadas de desgaste	-----	-----	Categoria-A <sub>Nvalor</sub>	1x A	-----	-----
	Retracção por secagem	EN 1367:4	Todos, excepto o filler	-----	-----	-----	-----	Retracção ≤0,075	1x 5 A
	Afinidade com os ligantes betuminosos	EN 12697:11	Agregados para betuminosos	-----	1x 2 A	Valor declarado	1x A	Categoria-F <sub>valor</sub>	_____
	Resist. ao choque térmico	EN 1367:5	Todos	-----	-----	Valor declarado	1x A	-----	-----
	Sulfato solúvel em meio ácido	EN 1744:1	Todos	-----	-----	-----	-----	AS ≤0,2%	1x A
	Enxofre total	EN 1744:1	Todos	-----	-----	-----	-----	AS ≤0,2%	1x A
	Contaminantes leves	EN 1744:1	Agregados com D>2mm	-----	-----	Categoria-m <sub>LPC</sub>	1x A	-----	-----
	Baridade	EN 1097:3	Quando requerido	-----	-----	-----	-----	Valor declarado	1x 2 <sup>a</sup>

**PLANO DE ENSAIOS DE AGREGADOS - MARCAÇÃO CE**

Tabela 3.3 - Plano de Ensaios de Agregados – Marcação CE

Tipo de Ensaio	Ensaio a realizar	Norma de referência	Agregado a ensaiar	Norma de referência NP EN 13242		Norma de referência .NP EN 13043		Norma de referência NP EN 12620	
				Apresentação do resultado	Frequência	Apresentação do resultado	Frequência	Apresentação do resultado / critérios	Frequência
CONTROLO DA PRODUÇÃO EM FÁBRICA	Constituintes que alteram o tempo de presa: - Hidróxido de sódio-15.1 - Ácido fúlvico-15.2 - Ensaio comparativo de resistência-15.3	EN 1744:1	Agregados tratados com ligantes Hidráulicos	<b>Valor Limite</b> Não devem provocar um aumento de tempo de presa >120 min. Nem uma diminuição á resistência à compressão do padrão >20% aos 28 dias. (Valor declarado)				Quando. Aplicável	
	Teor de Cloretos	EN 1744:1	Agregados de origem marinha para betão	-----	-----	-----	-----	Valor declarado	1x 2ª
	Sulfato de Magnésio	NP EN 1367:2	Agregados de origem marinha	-----	-----	-----	-----	Valor declarado	1x 2ª
	Descrição petrográfica	EN 932:3	Todos	-----	-----	-----	-----	Descrição	1x 3ª
	Composição química	EN 932:3	Agregados de origem marinha para betão	-----	-----	Valor declarado	1x 5ª	-----	-----

**PLANO DE INSPECÇÃO DE MISTURAS BETUMINOSAS**

Tabela 3.4 - Plano de Inspeção de misturas Betuminosas – Marcação CE

Material	Características a inspeccionar	CrITÉRIOS a utilizar	Frequência de inspeção / Ensaio
<b>AC 32 base Ligante (MB)</b> <b>AC 20 base Ligante (MB)</b> <b>AC 20 reg Ligante (MB)</b> <b>AC 20 reg Ligante (MBD)</b> <b>AC 14 surf Ligante (BB)</b>	<b>Temperatura de mistura</b>	Equipamento calibrado de acordo com EN 12697:13 • (Intervalo <5°C e precisão 2°C) • Sonda com 300mm de comprimento	A cada amassadura
		Na misturadora • Pirómetro (medição e registo da temperatura)	
		Camião • Medir a temperatura em 4 pontos (fazer a média) • Inserir a sonda pelo menos 100mm	Aquando da colheita de amostras A cada carga
	<b>Verificação organoléptica da mistura</b> • Homogeneidade • Cor • Cheiro • Brilho	• Mistura homogénea, de granulometria adequada • Toda a mistura de cor preta (todos os agregados cobertos de ligante) • Cheiro característico deste tipo de material • Brilho moderado (muito rilho implica mistura queimada)	A cada amassadora / carga
	Granulometria	De acordo com as normas EN 12697:2+A1 e NP EN 933:1	Por período de trabalho (após 32 análises)
	% de betume	De acordo com a norma EN 12697:1	
	Viatura de transporte Documento de transporte • Adequação da caixa de carga • Limpeza do veículo • Cobertura	• Inspeção visual	A cada carga / fornecimento

## PLANO DE INSPECÇÃO E ENSAIO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DAS MISTURAS BETUMINOSAS

Tabela 3.5 - Plano de Inspeção e Ensaio dos materiais constituintes das misturas Betuminosas

Material a inspeccionar /Ensaiar	Características a verificar	Critérios a utilizar	Frequência de inspeção / Ensaio		
<b>Agregados</b>	<b>Ensaio às características Intrínsecas</b>				
	Granulometria	NP EN 933:1	Semanal		
	Equivalente de Areia	NP EN 933:8			
	Azul de Metileno	NP EN 933:9			
	Teor de humidade	NP EN 1097:5			
	Índice de Forma	NP EN 933:4	Mensal		
	Índice de achatamento	NP EN 933:3			
	<b>Inspeção visual</b>				
	Limpeza	Sem lixo ou corpos estranhos á sua natureza e/ ou matéria orgânica significativa	A cada carga de agregados		
Homogeneidade	Granulometria homogénea				
<b>Filler</b>	<b>Recuperado</b>	<b>Ensaio às características Intrínsecas</b>			
		Massa volúmica	De acordo com as normas em vigor		
		Granulometria			
	Características rigidifiantes				
	<b>Comercial</b>	Humidade	De acordo com a ficha técnica	A cada fornecimento	
		Granulometria			
		<b>Inspeção visual</b>			
		Verificação da Guia de remessa	Cumprimento do tipo de material		A cada fornecimento
			Cumprimento do prazo de entrega		
Cumprimento das quantidades					
Cumprimento das condições de transporte					

**PLANO DE INSPECÇÃO E ENSAIO DOS MATERIAIS CONSTITUINTES DAS MISTURAS BETUMINOSAS**

Tabela 3.6 - Plano de Inspeção e Ensaio dos materiais constituintes das misturas Betuminosas

Material a inspeccionar /Ensaiar	Características a verificar	Critérios a utilizar	Frequência de inspeção / Ensaio	
<b>Ligante</b>	<b>Ensaio às características Intrínsecas</b>			
	Índice de penetração	De acordo com as normas em vigor	A cada fornecimento	
	Temperatura de amolecimento (Anel e bola)			
	Viscosidade			
	Temperatura (de fornecimento e aplicação)	De acordo com a especificação técnica / Boletim de ensaio	A cada fornecimento / A cada aplicação	
	<b>Inspeção visual</b>			
	Verificação da Guia de remessa	Cumprimento do tipo de material		A cada fornecimento
		Cumprimento do prazo de entrega		
		Cumprimento das quantidades		
		Cumprimento das condições de transporte		
Verificação das características organolépticas	Verificação no tanque, de acordo com as propriedades perceptíveis normais	A cada fornecimento / A cada aplicação		
Homogeneidade				
Limpeza				
Côr				



**Capítulo 4**

**RECICLAGEM DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**

---





## 4. RECICLAGEM DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS

### 4.1. Pavimentos Rodoviários

Podemos definir um pavimento rodoviário como sendo um sistema constituído por múltiplas camadas de espessura finita, que se encontram assentes numa fundação constituída por terreno natural, terreno esse que pode ou não ter um coroamento de qualidade melhorada.

Tendo em conta a constituição do pavimento e a sua deformabilidade, podemos classificar os pavimentos rodoviários em:

**FLÉXIVEIS** – São pavimentos bastante deformáveis, uma vez que as diversas camadas são constituídas por misturas betuminosas e por camadas granulares. Assim, ao se aplicar uma determinada carga ao pavimento, a degradação ocorre mais lentamente, exigindo, por isso, espessuras maiores para as reduzir até valores adequados ao nível da fundação.

**SEMI-RIGIDOS** – São pavimentos em que a camada superior é constituída por uma mistura betuminosa, aplicada sobre uma ou várias camadas de materiais tratados com ligantes hidráulicos, influenciando na capacidade de carga do pavimento, uma vez que absorvem a maioria dos esforços verticais.

**RIGIDOS** – São pavimentos pouco deformáveis cuja função estrutural é garantida por uma laje de betão de cimento. Esta, apresenta uma elevada resistência à flexão, o que garante uma rápida distribuição das cargas provocadas pelo tráfego. Assim, a uma profundidade relativamente pequena, as tensões verticais transmitidas ao solo de fundação assumem valores compatíveis com a resistência deste.

Na figura 4.1 apresenta-se a distribuição das tensões nos pavimentos rígidos e flexíveis.

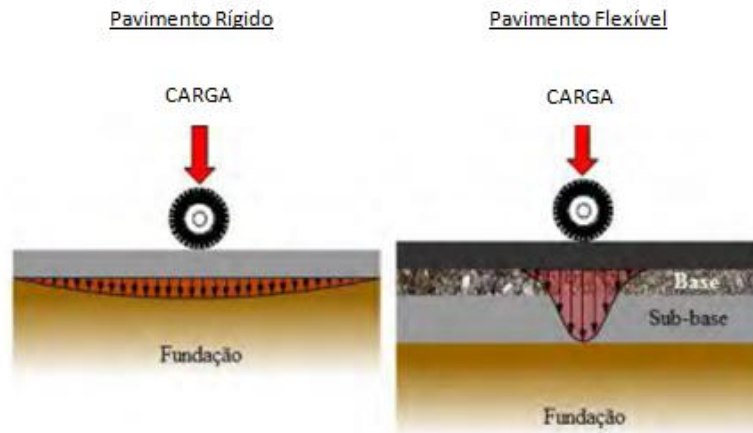


Figura 4.1 – Distribuição das tensões num pavimento rígido e num flexível (PTC 2005)

Nos pavimentos flexíveis a degradação das tensões geradas pelo tráfego são dissipadas mais em profundidade, sendo atingidas as camadas inferiores, ao contrário, nos pavimentos rígidos, a degradação das tensões é mais superficial.

Em Portugal a rede rodoviária na sua grande maioria é formada por pavimentos flexíveis, que de uma forma genérica é formada por um conjunto de camadas superiores (constituídas por misturas betuminosas) e por um conjunto de camadas inferiores (constituídas por materiais granulares) assentes na camada de fundação, como se pode ver na figura 4.2.

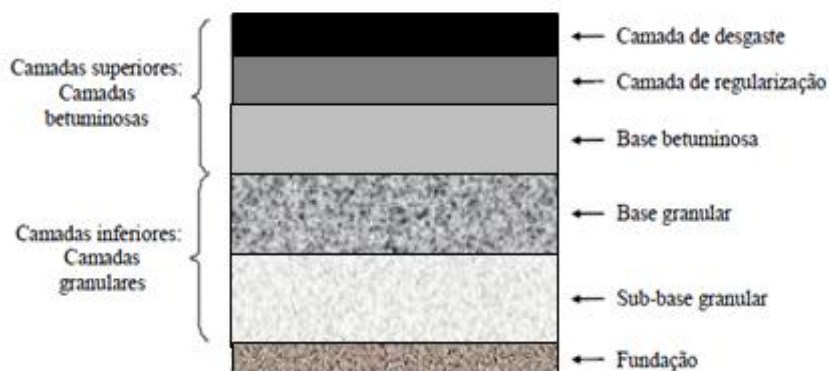


Figura 4.2 - Corte esquemático de um pavimento flexível

É importante referir que conforme vamos descendo nas camadas, isto é, da superfície para o solo de fundação, as camadas vão decrescendo em termos de qualidade e de resistência, tal como acontece com a progressiva redução dos esforços.

Nos pavimentos flexíveis as cargas induzidas pelo tráfego são suportadas pelas camadas superiores (ligadas) e pelas camadas inferiores (granulares), sendo estas degradadas, em profundidade, pelas várias camadas que fazem parte do pavimento.

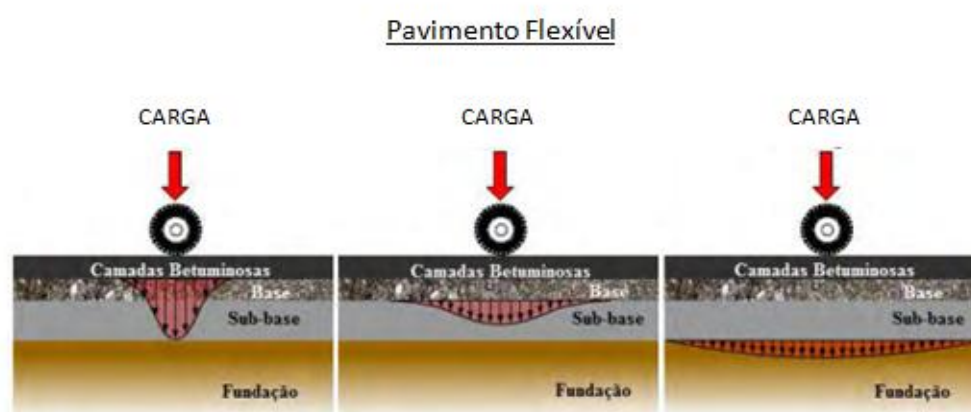


Figura 4.3 – Degradação de tensões nas diferentes camadas que constituem um pavimento flexível (PTC 2005)

De uma forma geral as camadas superiores têm como principal função impermeabilizar a estrutura do pavimento evitando a infiltração da água e dotar o pavimento de capacidade de suporte, para aguentar as acções do tráfego. Acresce ainda referir que no caso específico da camada de desgaste, a sua superfície deve permitir a circulação adequada dos veículos.

Durante a construção e após a entrada em funcionamento do pavimento, as misturas betuminosas terão de garantir determinadas características, das quais se destacam as seguintes (Freire, 2004):

- Uma estabilidade adequada, de maneira a resistir à passagem dos veículos sem o aparecimento de cavados de rodeira;
- Uma durabilidade elevada, de maneira a resistir ao desgaste causado pelo tráfego e pelos agentes atmosféricos;

- Uma adequada resistência fadiga sob a passagem repetida dos rodados dos veículos;
- Uma adequada flexibilidade que permita a adaptação das camadas betuminosas aos assentamentos, sem que se verifique o aparecimento de fendilhamento;
- Impermeabilidade das camadas superiores, para protecção das camadas inferiores;
- As misturas betuminosas devem apresentar adequada trabalhabilidade, de forma a facilitar as operações de fabrico, transporte e aplicação.

A função essencial de um pavimento rodoviário é assegurar uma superfície de rolamento que permita a circulação dos veículos com comodidade e segurança, durante um determinado período de vida do pavimento, sob a ação das ações do tráfego, e nas condições climáticas que ocorram (Branco et al, 2011)

Os pavimentos rodoviários desempenham 2 funções, as estruturais e as funcionais.

**Funções estruturais** - dizem respeito à redução das tensões verticais aplicadas ao nível da fundação por forma a esta resistir às solicitações provocadas pela passagem dos veículos, impedindo ainda o acesso de água externa às camadas granulares e ao solo de fundação.

**Funções funcionais** - dizem respeito à criação de uma superfície regular e resistente, com determinada rugosidade e resistência ao desgaste, por forma a garantir segurança e conforto de circulação.

#### **4.2. Degradações nos Pavimentos**

Os pavimentos rodoviários mal dão entrada em funcionamento, começam a estar sujeitos a sucessivas degradações, quer pela acção do tráfego quer pelas condições climáticas, a que estão sujeitos. Estes factores vão interferir com a qualidade de circulação, logo reduzem a aptidão do pavimento para suportar as cargas do tráfego a que estão sujeitas. A sucessiva repetição destas condições origina degradações no pavimento.

Na figura 4.4 estão representadas as solicitações do tráfego e as climáticas que levam à degradação dos pavimentos.

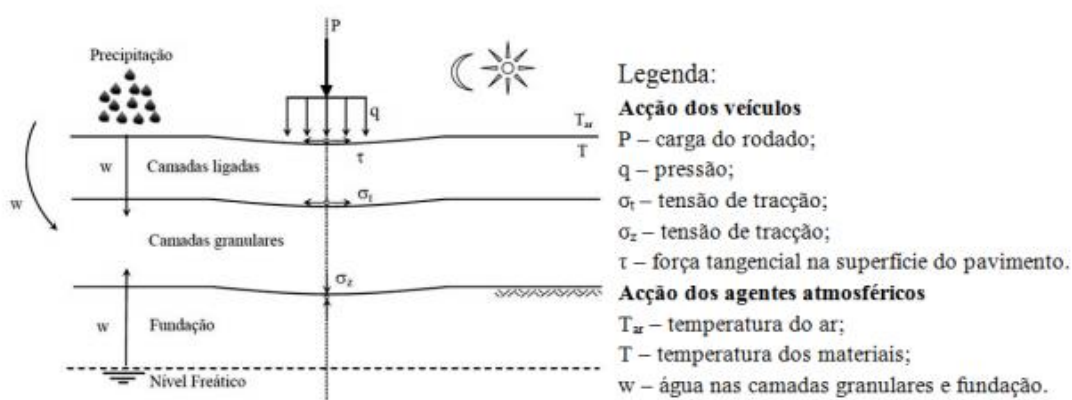


Figura 4.4 – Esquema representativo da constituição e solicitações dum pavimento rodoviário flexível (Branco et al., 2010)

Na Figura 4.5 podemos verificar a evolução do estado de um pavimento. No início da sua vida útil o pavimento apresenta um determinado nível máximo de serviço, que é caracterizado por apresentar níveis de segurança, conforto e economia elevados para os utilizadores. No entanto, com o decorrer do tempo as suas características iniciais vão-se perdendo, logo o pavimento degrada-se.

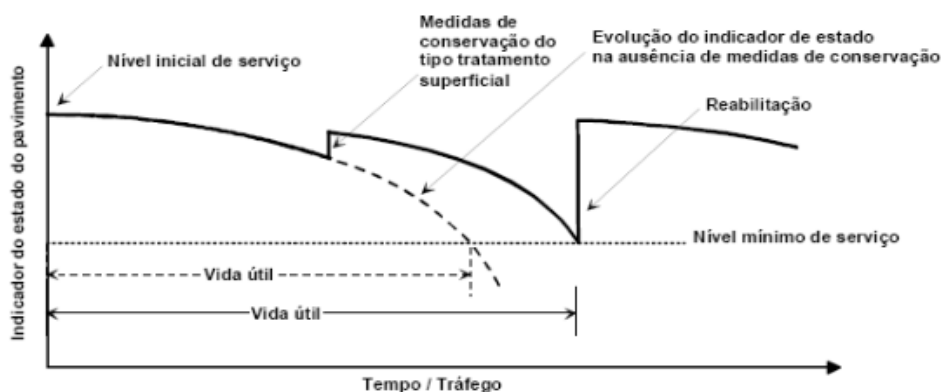


Figura 4.5 - Evolução do estado de um pavimento (Batista, 2004)

Um comportamento inadequado dos pavimentos leva à ocorrência de degradações prematuras, o que vai obrigar à reabilitação das características do pavimento, de maneira a melhorar o seu comportamento quer funcional quer estrutural, o que é feito, normalmente através de um reforço estrutural.

As degradações dos pavimentos flexíveis agrupam-se em quatro famílias, que se encontram descritas na tabela 4.1

Tabela 4.1 - Família e tipo de degradações (Pereira & Miranda, 1999)

FAMÍLIAS DE DEGRADAÇÕES	TIPOS DE DEGRADAÇÕES
Deformações	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abatimento: { <ul style="list-style-type: none"> <li>- Longitudinal: { <ul style="list-style-type: none"> <li>- Berma</li> <li>- Eixo</li> </ul> </li> <li>- Transversal</li> </ul> </li> <li>- Deformações localizadas</li> <li>- Ondulação</li> <li>- Rodeiras: { <ul style="list-style-type: none"> <li>- Grande raio (devido, principalmente, ao solo de fundação)</li> <li>- Pequeno raio (devido às misturas betuminosas)</li> </ul> </li> </ul>
Fendilhamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fendas: { <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fadiga</li> <li>- Longitudinais: { <ul style="list-style-type: none"> <li>- Eixo</li> <li>- Berma</li> </ul> </li> <li>- Transversais</li> <li>- Parabólicas</li> </ul> </li> <li>- Pele de crocodilo: { <ul style="list-style-type: none"> <li>- Malha fina (<math>\leq 40</math> cm)</li> <li>- Malha larga (<math>&gt; 40</math> cm)</li> </ul> </li> </ul>
Desagregação da Camada de Desgaste	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desagregação superficial</li> <li>- Cabeça de gato</li> <li>- Pelada</li> <li>- Ninhos (covas)</li> </ul>
Movimento de Materiais	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Exsudação</li> <li>- Subida de finos</li> </ul>

A qualidade dos materiais utilizados na fabricação das misturas betuminosas, e as deficiências de fabrico e construção das mesmas são factores primordiais que intervêm em todos os tipos de degradações que ocorrem num pavimento. Deste modo, é extremamente importante ter um especial cuidado na fase de formulação das misturas betuminosas e na fase de controlo de qualidade, quer do fabrico das misturas betuminosas, quer da construção do pavimento.

### 4.3. Reciclagem de pavimentos

Conforme referido anteriormente, posteriormente à construção de um pavimento, é importante ter em atenção a sua conservação, por forma a garantir as qualidades funcionais e estruturais ao longo da sua vida útil. Para tal, as técnicas de conservação e reabilitação podem ser aplicadas tanto a nível funcional e/ou estrutural, dependendo do estado em que se encontre o pavimento.

A reciclagem de pavimentos é cada vez mais um tema de debate, o qual deve ser promovido e divulgado.

Trata-se de uma técnica, que reabilita estruturalmente um pavimento flexível degradado, sendo portanto uma alternativa a ter em conta relativamente às soluções mais tradicionais que implicam a colocação de um reforço no pavimento.

Na técnica da reciclagem, torna-se necessário a fresagem prévia do pavimento, por forma a eliminar as fendas existentes, no entanto, o material fresado será reutilizado na sua totalidade ou parcialmente na execução de novas misturas betuminosas, que serão utilizadas nas novas camadas do pavimento reabilitado.

Por outro lado, a reabilitação de pavimentos produz uma grande quantidade de resíduos que importa, à luz das preocupações com o desenvolvimento sustentável, reutilizar. Do ponto de vista ambiental o processo de reciclagem é a forma mais desejável de reutilizar. Do ponto de vista das misturas betuminosas, a reciclagem a quente constitui o processo preferencial de reutilizar de modo a obter-se misturas betuminosas recicladas com qualidade idêntica à das misturas betuminosas fresadas quando novas. (Gomes, L.,2005)

São bem conhecidas e evidentes as vantagens da técnica da reciclagem do ponto de vista de protecção do meio ambiente e ecológicas, em virtude de uma menor necessidade de extracção de materiais granulares em pedreiras ou seixeiros (actividades extractivas, impacto visual, destruição dos ecossistemas), uma menor ou nenhuma necessidade de levar os materiais existentes degradados a vazadouros, um menor consumo de energia, entre outras (Azevedo, M., 2009).

Com efeito, em muitas regiões do país é já escassa a existência de materiais granulares de qualidade adequada para utilização em misturas betuminosas, o que faz com que seja necessário utilizar materiais de proveniência distante do local da obra, com o conseqüente sobrecusto (Azevedo, M., 2009).

Nos itens seguintes não iremos fazer uma descrição exaustiva das técnicas de reciclagem, uma vez que não está no âmbito do presente trabalho, no entanto existe documentação bastante desenvolvida sobre o tema técnicas de reciclagem. Apenas desenvolverei o tipo de técnica de reciclagem utilizado para o estudo, isto é reciclagem a quente em central.



#### 4.4. Tipos de Reciclagem

Existem 3 variáveis que definem o tipo de reciclagem, sendo 1) o Local onde ocorre o processo de reciclagem; 2) a Temperatura; e 3) o ligante a utilizar.

Na tabela 4.2 apresentam-se as diversas possibilidades existentes.

Tabela 4.2 - Classificação dos tipos de reciclagem (Adaptado de Fonseca, 2002)

TÉCNICAS DE RECICLAGEM	
Local de reciclagem	<i>in situ</i>
	em central
Temperatura de reciclagem	a frio
	a quente
	semi-quente
Ligante utilizado	Cimento
	emulsão betuminosa
	espuma de betume
	cimento com emulsão

##### 4.4.1. Reciclagem *in situ*

A reciclagem “*in situ*” foi a primeira técnica de reciclagem a ser usada em Portugal e preconiza o rejuvenescimento e simultaneamente reforço do pavimento rodoviário degradado. O processo de execução consiste em fresar o pavimento existente numa espessura pré-determinada, com o objectivo de, no mesmo sítio, misturar e homogeneizar o material resultante com um ou vários ligantes, sem aquecimento, coloca-lo e compacta-lo, assegurando a espessura desejada para a camada. O material da construção inicial, degradado, e então reciclado e processado formando uma nova camada do pavimento de resistência mecânica melhorada (Azevedo, M.,2009).

##### 4.4.2. Reciclagem em Central

O fabrico das misturas betuminosas em central pode ainda subdividir-se em centrais descontínuas ou contínuas.

Na Pedreira Sacramento estamos perante uma central betuminosa descontínua, assim sendo, apenas falaremos neste tipo de Centrais.

### **Técnicas de Reciclagem em Centrais Betuminosas Descontínuas**

Neste tipo de centrais as técnicas de reciclagem, incluem os seguintes métodos:

- 1) A frio – Neste método o material fresado pode ser introduzido a frio junto com os agregados ou directamente na unidade de mistura.
- 2) A quente – o material fresado pode ser aquecido e posteriormente introduzido na unidade de mistura.
- 3) Recyclean (reciclagem limpa) – aquecido com os agregados e posteriormente elevado para a unidade de mistura.

Todos estes métodos implicam que o material a reciclar tenha que ser britado e crivado para as dimensões adequadas, antes de qualquer processamento posterior.

Nos **métodos a frio** a introdução das misturas betuminosas a reciclar é feita quer na altura da descarga do secador para o elevador de agregados quentes, sendo o material aquecido pelo contacto com os novos agregados sobreaquecidos antes de entrar para o misturador, quer directamente para o misturador. No misturador é adicionada à mistura a quantidade adequada de betume novo, de acordo com as propriedades pretendidas para a mistura betuminosa. É importante evitar aquecimentos excessivos dos novos constituintes adicionados (Azevedo, M., 2009).

É importante referir que como o material fresado é introduzido a frio, os agregados são mais sobreaquecidos de forma a que a mistura reciclada final apresente uma temperatura final adequada. Por isso, neste métodos, só em condições especiais se consegue ir além de incorporações de 30%.

Seguidamente apresenta-se o esquema de funcionamento no método a frio

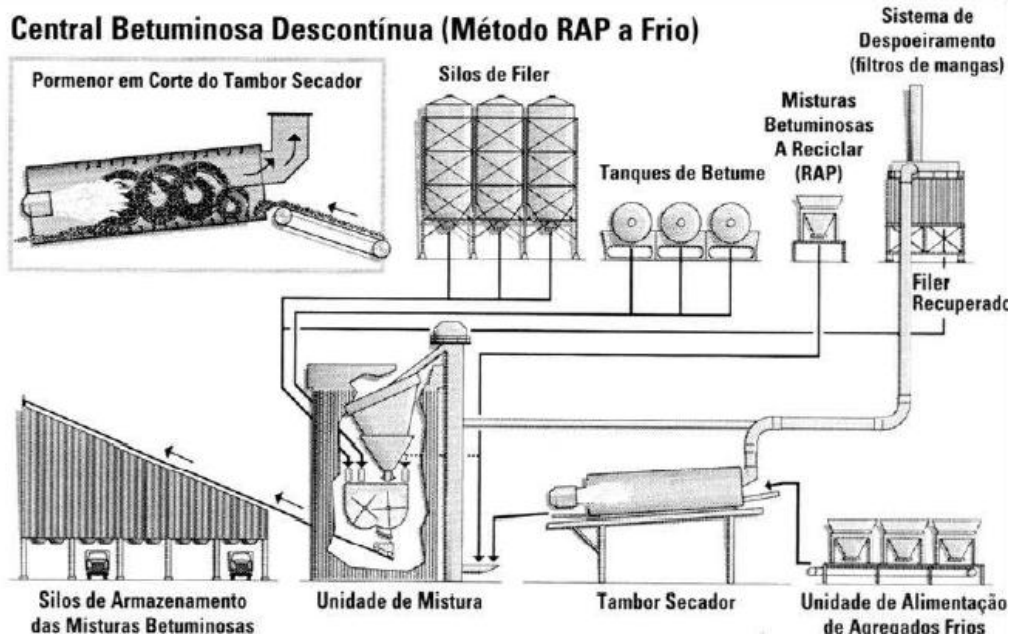


Figura 4.6 - Esquema de funcionamento de uma central betuminosa descontínua com incorporação do material fresado a frio (EAPA, 1998)

No **método a quente**, consegue-se atingir taxas de reciclagem mais elevadas, podendo atingir os 70%. Neste método o material fresado, antes de ser introduzido na unidade de mistura é aquecido num tambor secador paralelo.

Seguidamente apresenta-se o esquema de funcionamento referente ao método a quente

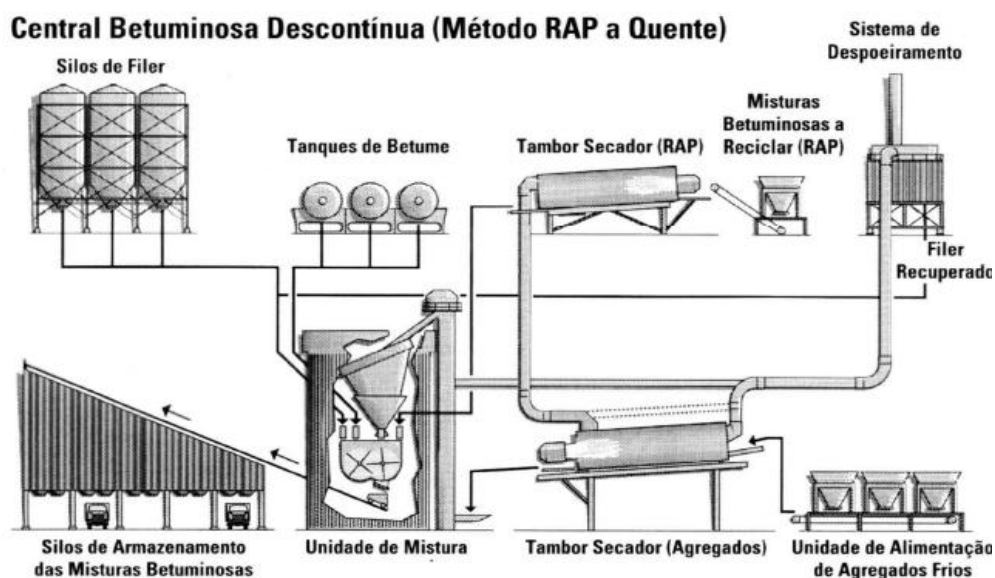


Figura 4.7 - Esquema de funcionamento de uma central betuminosa descontínua com incorporação do material fresado a quente (EAPA, 1998)

Por último temos o **método recyclean**, consiste em introduzir o material no tambor secador de aquecimento dos agregados através dum anel localizado na zona indicada na Figura 4.8. Seguidamente apresenta-se o esquema de funcionamento referente ao método Recyclean.

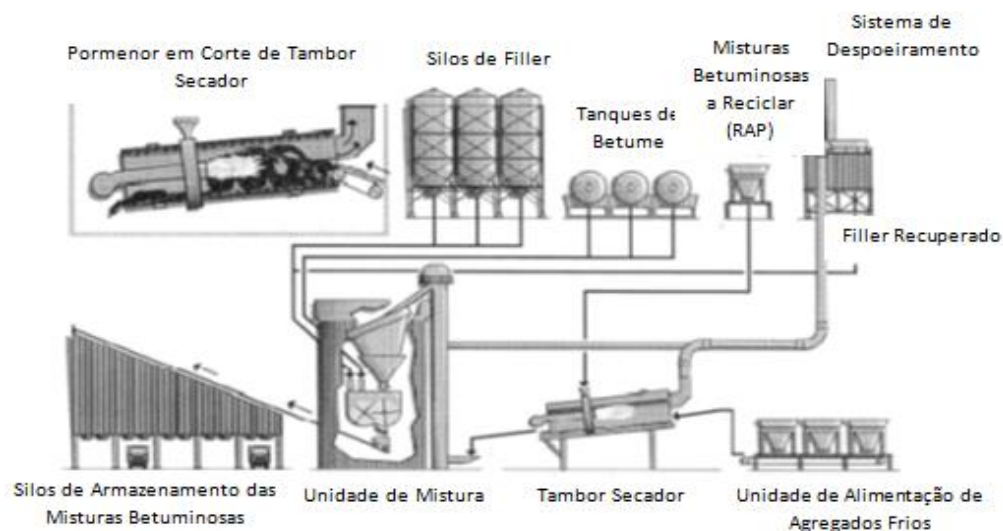
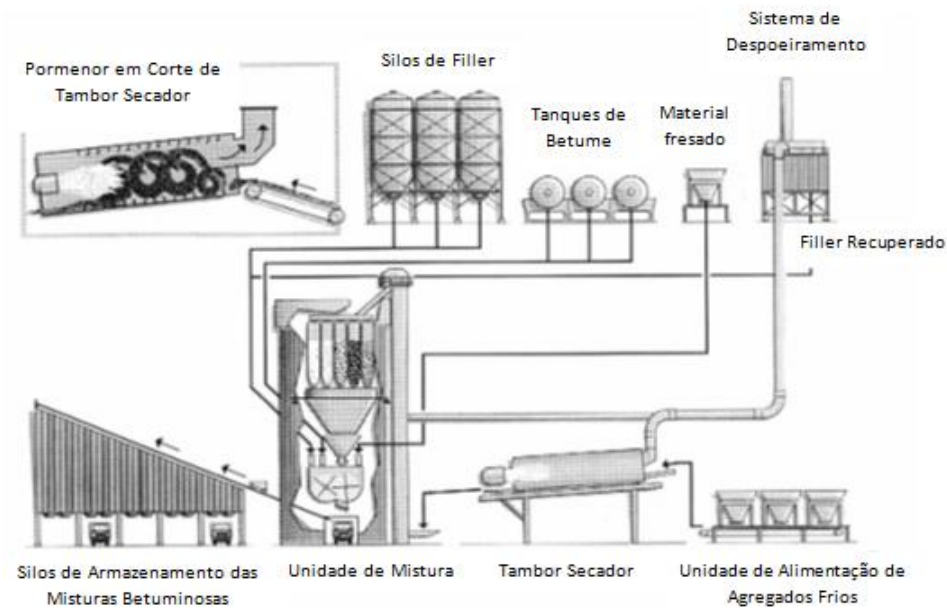


Figura 4.8 - Esquema de funcionamento de uma central betuminosa descontínua com incorporação do material fresado pelo método Recyclean (EAPA, 1998)

No método a frio, existe ainda a chamada central de torre, em que o material fresado é introduzido a frio directamente na unidade de mistura. Neste tipo de central existe um armazenamento intermédio dos agregados aquecidos, assegurado através de silos localizados por cima da unidade de mistura, correspondendo a cada silo uma determinada fracção granulométrica. A central apresenta um funcionamento muito flexível, permitindo, com facilidade, variar o tipo de mistura ou a fórmula de trabalho.



**Figura 4.9 - Esquema de funcionamento de uma central de torre com incorporação de material fresado a frio (EAPA, 1998)**

Cada técnica tem as suas vantagens e desvantagens. A reciclagem *in situ*, tem a vantagem de não necessitar de transporte e armazenamento, que a torna mais económica em relação à reciclagem em central. No entanto, em central, a vantagem é a de obter as misturas com mais qualidade, mas com custos mais elevados (Azevedo, 2004)

#### **4.5. Estudo efectuado sobre Reciclagem de misturas betuminosas a quente em central, segundo Baptista, A. (2006) – Avaliação das Características Mecânicas de Misturas Recicladas a Quente em Central**

O estudo efectuado por Baptista, A. (2006) teve como objectivo analisar 3 misturas betuminosas recicladas a quente, com diferentes taxas de reciclagem (20%, 30% e 40%), e uma mistura betuminosa nova de referência, fabricada a quente e avaliar as características mecânicas das mesmas, no que diz respeito ao módulo de deformabilidade, leis da fadiga e deformação permanente.

Para as misturas betuminosas utilizou-se o betume 35/50 numa percentagem de ligante novo utilizado na mistura de 4,2%.

Na Tabela 4.3 apresenta-se em resumo as características das misturas produzidas e analisadas no estudo

**Tabela 4.3 – Características das misturas (Adaptado de Baptista, A., 2006)**

Designação da mistura	Taxa de reciclagem(%)	Tipo de Betume
LA – Mistura de referência	0	35/50
LB	20	35/50
LC	30	35/50
LD	40	35/50

Na tabela 4.4 são apresentados os valores do módulo de deformabilidade para a mistura de referência e para as misturas com betume 35/50 com diferentes taxas de reciclagem. Estes valores foram obtidos em ensaios de flexão, para três temperaturas diferentes (15°C; 25°C e 40°C) e para três frequências diferentes (1Hz; 5Hz; 10 Hz).

**Tabela 4.4 – Módulos de deformabilidade para as misturas com betume 35/50 (Adaptado de Baptista, A., 2006)**

Módulos de Deformabilidade (Mpa)									
Designação da mistura	Temperatura de 15°C			Temperatura de 25°C			Temperatura de 40°C		
	10 Hz	5 Hz	1 Hz	10 Hz	5 Hz	1 Hz	10 Hz	5 Hz	1 Hz
LA – Mistura de referência	10838	10482	7071	7024	5670	3401	2314	1737	1078
LB	11145	10943	8056	8258	7434	4977	3481	2684	1729
LC	11200	10843	8464	9301	8351	5912	4085	3247	2160
LD	11127	10490	8114	8793	8372	5707	4606	3692	2402

Pelos resultados apresentados pode-se dizer que independentemente da percentagem de reciclagem incorporada, as misturas betuminosas recicladas, apresentam sempre módulos de deformabilidade superiores em relação à mistura betuminosa de referência.

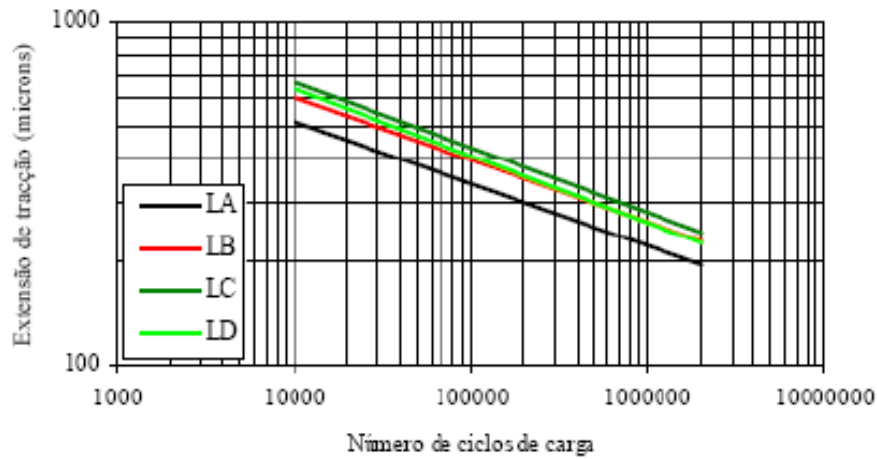


Figura 4.10 – Representação das leis da fadiga para as misturas com betume 35/50 (Baptista, A., 2006)

A figura 4.10 mostra que as misturas betuminosas recicladas possuem melhores comportamentos à fadiga.

Também se analisaram as misturas betuminosas relativamente à deformação permanente, tendo-se verificado que o comportamento à deformação permanente melhora ligeiramente com o aumento da taxa de reciclagem para o mesmo tipo de betume.







## **Capítulo 5**

### **MBQ COM INCORPORAÇÃO DE 30% MATERIAL FRESADO**

#### **CASO EM ESTUDO**

---



## 5. BQ COM INCORPORAÇÃO DE 30% DE MATERIAL FRESADO – CASO EM ESTUDO

O objectivo deste capítulo é a formulação de uma MBQ em central para uma camada de ligação com incorporação de 30% de material fresado a ser aplicado em obra. Esta mistura terá de cumprir os requisitos do CE das Estradas de Portugal, S.A.

### 5.1. Caracterização dos materiais a utilizar na mistura betuminosa

#### 5.1.1. Caracterização do Ligante

O ligante que foi utilizado no estudo é um betume da Repsol 35/50, cujas características principais são apresentadas na tabela 5.1.

Tabela 5.1 - Características do Ligante (dados fornecidos pela REPSOL)

Características	Valor de referência do C.E.	REPSOL 35/50
Temperatura á viscosidade de 170 cSt - Temperatura de fabrico das misturas (°C)	_____	165
Temperatura á viscosidade de 280 cSt - Temperatura de compactação (°C)	_____	153
Massa volúmica do betume		1.05
Penetração a 25°C	35-50	44
Temperatura de amolecimento (anel e bola)	50-58	54.2
Variação em massa (%)	≤ 0.5	-0.05
Ponto de inflamação °C	≥ 240	
Ponto de fragilidade Frass °C	≤ -5	-9
Viscosidade cinemática (135°C)mm <sup>2</sup> /s	≥ 370	657.8
Teor em parafinas (%)	≤ 2.2	
Solubilidade (%)	≥ 99.0	99.9

#### 5.1.2. Caracterização do Filler

O filler a utilizar na mistura é 100% de filler comercial, pó de calcário, e cujos ensaios de caracterização são apresentados nas tabelas 5.2 e 5.3.

Após efectuada a análise granulométrica, obteve-se a curva representada na tabela e figura abaixo.

Tabela 5.2 - Granulometrias dos agregados

Amostra	% Acumulada do material que passa (abertura dos peneiros série base +2)							
	20	14	10	4	2	0,5	0,125	0,063
Filler comercial	100	100	100	100	100	99.8	99.2	88.2

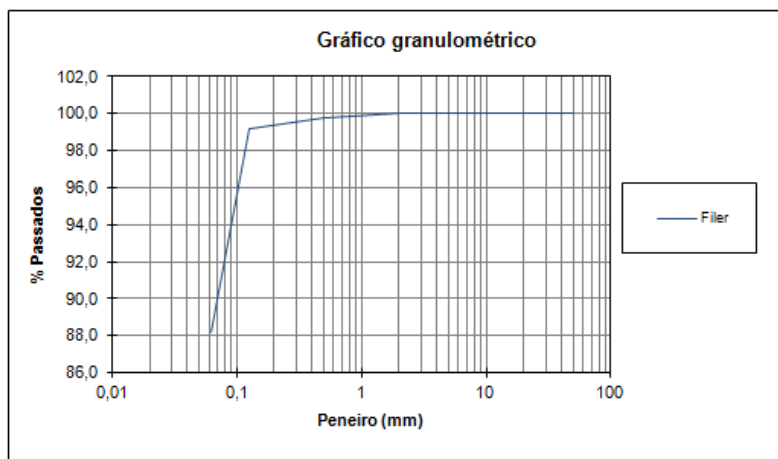


Figura 5.1 - Curva granulométrica do Filler comercial

Tabela 5.3 - Características do Filler

Características	Valor de referência do CE				Valor do Filler		
	D peneiros	2	0.125	0.063	2	0.125	0.063
Granulometria do filler	% passados	100	85-100	70-100	100	99.2	88.2
	Teor em água	≤ 1				≤ 0.5	
% de vazios do filler seco compactado	u 28/38				0.33		
Azul de metileno	MBF10				< 2		
Massa Volúmica do Filler	A declarar				2.66		
Relação volumétrica filler/betume para ΔTab=12°C e ΔTab=16°C					1.17-1.55		

### 5.1.3. Caracterização do material fresado

O material fresado que foi caracterizado é proveniente da fresagem do pavimento betuminoso da EN 1 entre o IP5 e Albergaria-a-Nova.



Figura 5.2 - Equipamento de fresagem do pavimento da EN1 em Albergaria (foto da autora)



Figura 5.3 - Amostra de material fresado (foto da autora)

Após efectuada a análise granulométrica do material fresado, obteve-se a curva representada na tabela 5.4 e figura 5.4.

Tabela 5.4 - Granulometria do material fresado

Amostra	% Acumulada do material que passa (abertura dos peneiros série base +2)							
	20	14	10	4	2	0,5	0,125	0,063
Material fresado	100	98.5	91.6	66	49.8	27.3	13	9.3

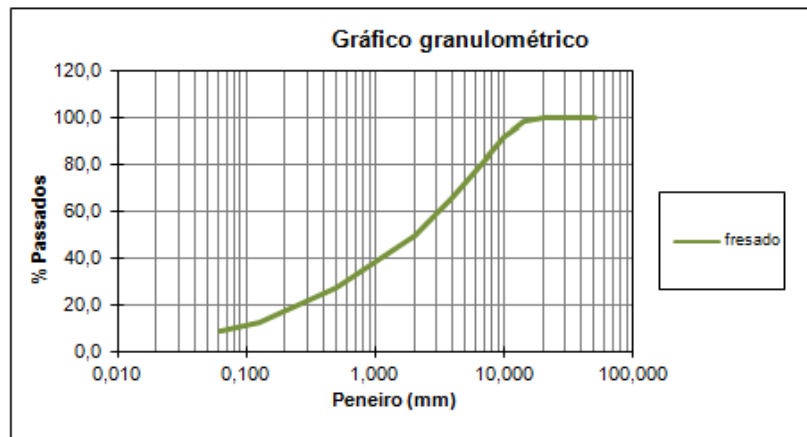


Figura 5.4 - Curva granulométrica do material fresado

Para saber qual a percentagem de betume no material fresado, procedeu-se à realização do ensaio de Extração de betume pelo método da Mufla, conforme a norma EN 12697-39

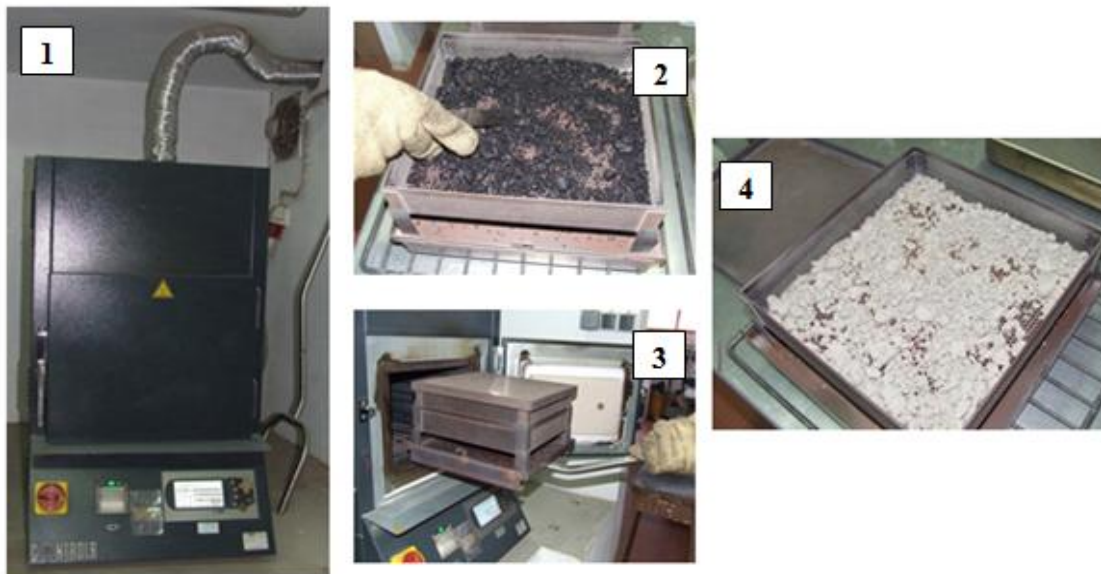


Figura 5.5 - Mufla para ensaio de extração de betume (foto da autora)

Os ensaios apresentados na tabela abaixo foram realizados pelo CICCOPN, uma vez que o laboratório não executa estes ensaios e quando é necessário recorre-se a este laboratório acreditado.

Tabela 5.5 - Características do material fresado

Características	Material fresado
Presença de matéria estranha	F1
Características do ligante recuperado – penetração (0.1xmm)	16
Temperatura de amolecimento (anel e bola)	45
Conteúdo médio de ligante no resíduo	5.15
Dimensão máxima das partículas do resíduo, D(mm)	16
Teor de água máximo do resíduo (%)	1.1
Presença de alcatrão na amostra (%)	Não detectado

#### 5.1.4. Caracterização dos agregados da Pedreiras Sacramento

Como já referido anteriormente, os agregados são a maior percentagem da composição de uma mistura betuminosa, como tal, é um elemento extremamente importante, influenciando nas características finais do pavimento.

Assim, os agregados devem possuir características físicas, químicas, geométricas e mecânicas por forma a dar garantias do bom comportamento final da mistura, garantindo assim a longevidade do pavimento.



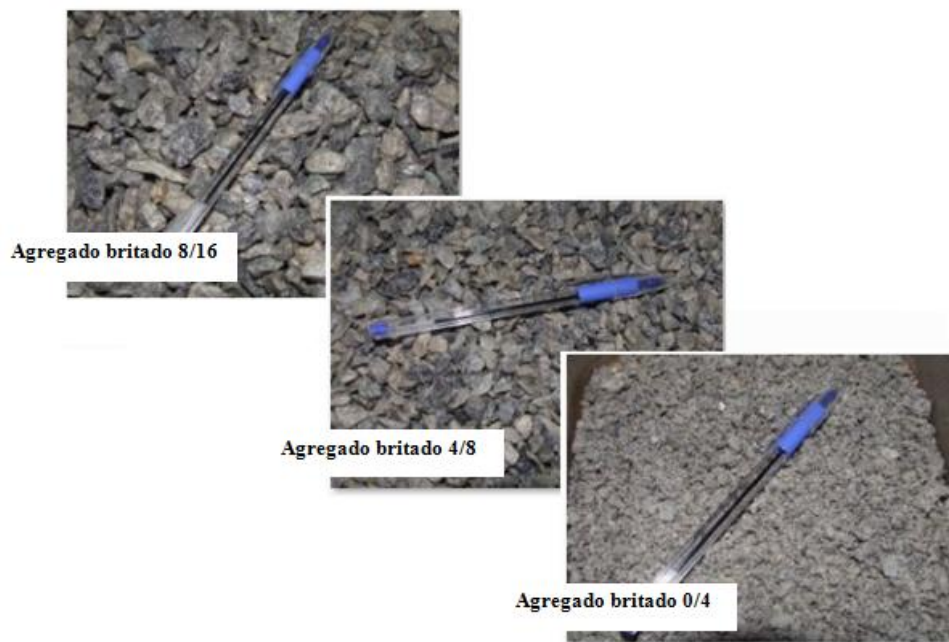


Figura 5.6 - Agregados das pedreiras Sacramento para realização das misturas (foto da autora)

Os ensaios laboratoriais de caracterização dos agregados que irão fazer parte da composição da mistura betuminosa foram realizados segundo as normas europeias vigentes, mencionados de seguida:

- **Granulometria**

O ensaio segue a norma NP EN 933-1, e é de extrema importância, uma vez que se determina qual a dimensão máxima e mínima do agregado.

A distribuição granulométrica de um agregado é talvez a sua propriedade mais importante, tendo influência sobre as propriedades das misturas betuminosas, como: rigidez, estabilidade, durabilidade, resistência à fadiga entre outras, logo, a granulometria de um agregado dá-nos indicações de extrema importância.

A análise granulométrica é representada pela curva granulométrica que traduz graficamente a distribuição da percentagem das partículas de certa dimensão que compõem o agregado.



Figura 5.7 - Esquema representativo de uma seqüência de peneiros (adaptado de Bernucci, L et al, 2008) e Série de peneiros utilizados para o ensaio da granulometria (foto da autora)

Foram neste estudo, efectuadas as análises granulométricas aos agregados de dimensão 0/4; 4/8 e 8/16, tendo-se obtido as curvas representadas na tabela e figura abaixo.

Tabela 5.6 - Granulometrias dos agregados

Amostra	% Acumulada do material que passa (abertura dos peneiros série base +2)							
	20	14	10	4	2	0,5	0,125	0,063
8/16	100	85.2	12.5	0.7	0.6	0.6	0.6	0.4
4/8	100	100	96.4	2.7	1.7	1.5	1.2	0.9
0/4	100	100	100	82.1	53.0	22.9	11.1	7.2

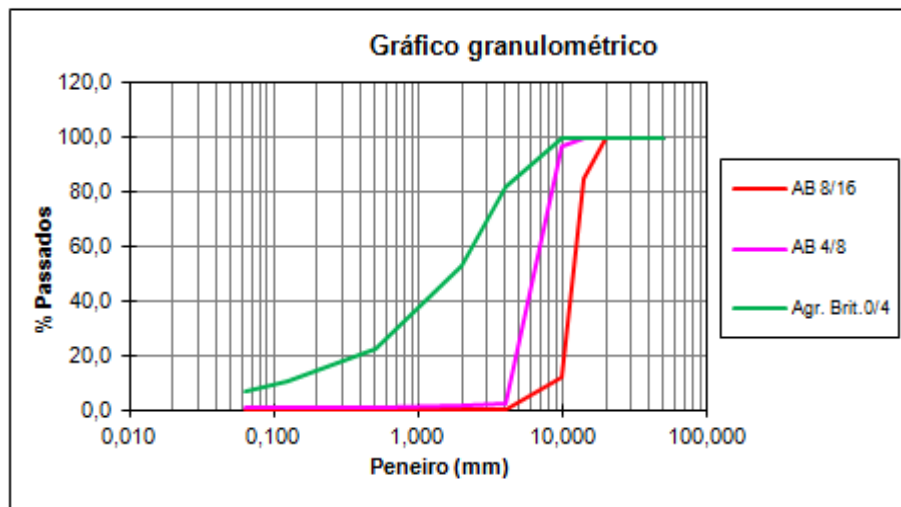


Figura 5.8 - Curvas granulométricas dos agregados analisados

- **Azul de metileno**

Este ensaio permite avaliar a limpeza, qualidade e quantidade de partículas finas presentes num agregado e é realizado segundo a NP EN 933-9.



Figura 5.9 - Ensaio do Azul de metileno (foto do autor)

- **Equivalente de areia**

Este ensaio permite detectar a qualidade e quantidade de partículas finas presentes num agregado segue a NP EN 933-8



Figura 5.10 - Ensaio do Equivalente de areia (foto da autora)

- **Índice de forma**

Este ensaio tal como o nome indica permite verificar a forma das partículas através da relação comprimento/espessura, e rege-se pela NP EN 933-4

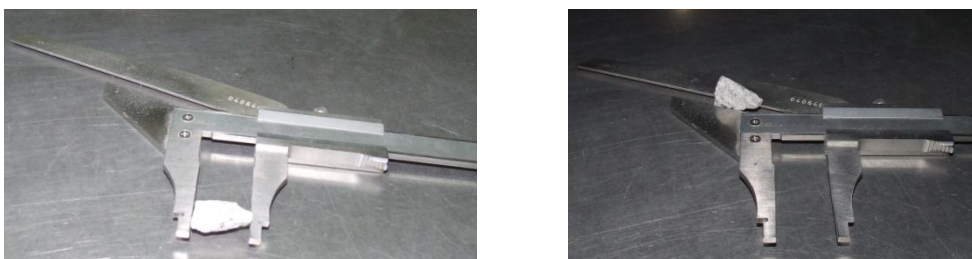


Figura 5.11 - Paquímetro utilizado para o índice de forma (foto do autor)

- **Índice de Achatamento**

Este ensaio tal como o nome indica permite verificar o achatamento das partículas e a sua regularidade e rege-se pela NP EN 933-3.



Figura 5.12 - Peneiros utilizados para o índice de achatamento (foto da autora)

- **Percentagem de superfícies esmagadas e partidas**

Este ensaio tem como objectivo, a classificação manual das partículas de um provete de ensaio para a determinação da percentagem de partículas com superfícies esmagadas e partidas numa amostra. A norma referente ao ensaio é a NP EN 933-5

- **Ensaio Los Angeles**

Este ensaio segue a norma NP EN 1097-2 permitindo efectuar a caracterização do material ensaiado em relação à resistência ao choque e ao desgaste, dando indicações da alterabilidade dos agregados e consequentemente da sua potencial alteração.



Figura 5.13 - Equipamento do Ensaio Los Angeles (foto da autora )

- **Ensaio Micro-Deval**

Este ensaio segue a NP EN 1097-1 e consiste na medição do desgaste produzido pela fricção entre os agregados e uma carga abrasiva num tambor rotativo em meio húmido.

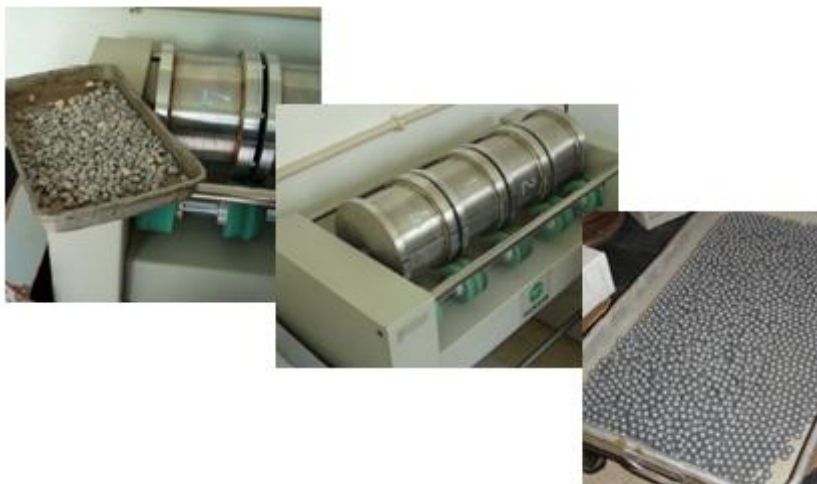


Figura 5.14 - Ensaio Micro-Deval (foto da autora)

Na tabela 5.7 apresentam-se os resultados dos ensaios realizados

Tabela 5.7 - Características dos agregados

Características	Valor de ref <sup>o</sup> do CE	Agregado(s)		
		8/16	4/8	0/4
Qualidade dos finos	MBf10			3.3
Índice de achatamento (Ag. Grosso)	FI20	7	14	-----
% de superfícies esmagadas	C100/0	C100/0	C100/0	C100/0
Resistência á fragmentação (LA)*	LA30	22	-----	-----
Resistência ao atrito MDev*	MDE15	9	-----	-----
Resistência ao polimento do agregado grosso para camadas de desgaste*	PSV <sub>50</sub>	-----	58	-----
Massa volúmica	Declarar	2.62	2.64	2.64
Absorção de água	≤ 1	0.7	0.6	0.3
Baridade	Declarar	1.32	1.40	1.49
Resistência ao Choque térmico*	Declarar	11	-----	-----
Afinidade com os ligantes betuminosos (6/24)*	Declarar	80/55	-----	-----

\*Estes ensaios foram realizados no CICCOPN

Como se pode constatar na Tabela 5.7 os agregados cumprem os requisitos do CE para as misturas betuminosas AC 14 bin 35/50 (BB).

## 5.2. Realização da Mistura betuminosa

As misturas betuminosas são constituídas por agregados de diversas dimensões e proporções, que se interligam entre si pelo ligante.

### 5.2.1. Determinação da proporção de cada agregado e curva granulométrica

Após efectuadas as análises granulométricas, obtiveram-se as curvas representadas na tabela e figura abaixo.

Tabela 5.8 - Granulometrias dos agregados

Amostra	% Acumulada do material que passa (abertura dos peneiros série base +2)							
	20	14	10	4	2	0,5	0,125	0,063
8/16	100	85.2	12.5	0.7	0.6	0.6	0.6	0.4
4/8	100	100	96.4	2.7	1.7	1.5	1.2	0.9
0/4	100	100	100	82.1	53.0	22.9	11.1	7.2
Filler comercial	100	100	100	100	100	99.8	99.2	88.2
Agregado fresado	100	98.5	91.6	66	49.8	27.3	13	9.3

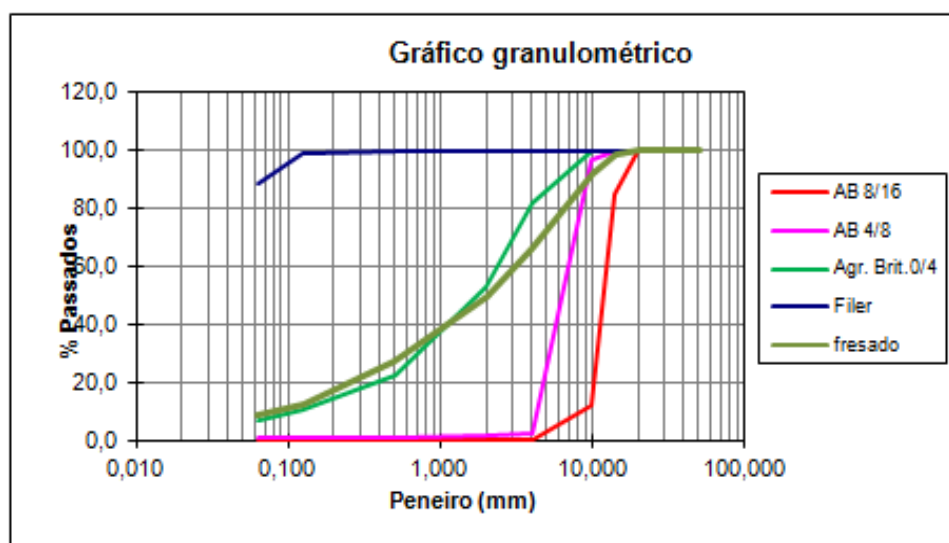


Figura 5.15 - Curvas granulométricas

Após a obtenção das análises granulométricas dos vários agregados procedeu-se à dosagem de várias fracções dos materiais, de forma a ajustar-se a curva de agregados à curva do fuso granulométrico pretendido, conforme CE.

Tabela 5.9 - Limites do Fuso granulométrico segundo o CE tipo de obra das Estradas de Portugal

Abertura de peneiros (Série base +2)	Limite inferior	Limite superior
20	100	100
14	90	100
10	67	77
4	40	52
2	25	40
0,5	11	19
0,125	6	10
0,063	5	8

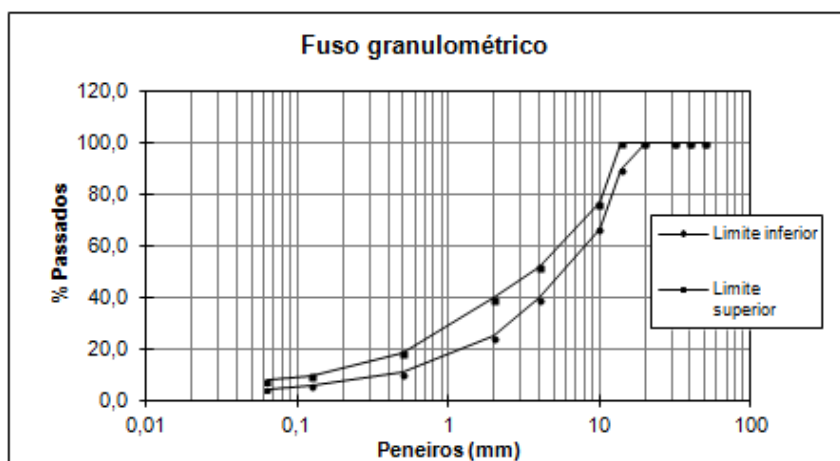


Figura 5.16 - Limites do fuso do CE do EP

Assim a curva final da mistura dos agregados e filler apresenta as seguintes proporções:

Tabela 5.10 - Composição da mistura

Agregados	% de cada agregado
8/16	26
4/8	16
0/4	26
Filer comercial	2
Fresado	30



Tabela 5.11 - Resultado da análise granulométrica da mistura

Mistura de agregados			
Abertura dos peneiros (Série base +2)	Fuso segundo CE das Estradas de Portugal AC14 surf (BB)		% de passados da mistura com 30% de fresado
	Limite inferior	Limite superior	
20	100	100	100
14	90	100	95.7
10	67	77	74.2
4	40	52	43.8
2	25	40	31.1
0,5	11	19	16.5
0,125	6	10	9.6
0,063	5	8	6.7

No gráfico seguinte apresentam-se a curva granulométrica referente à mistura

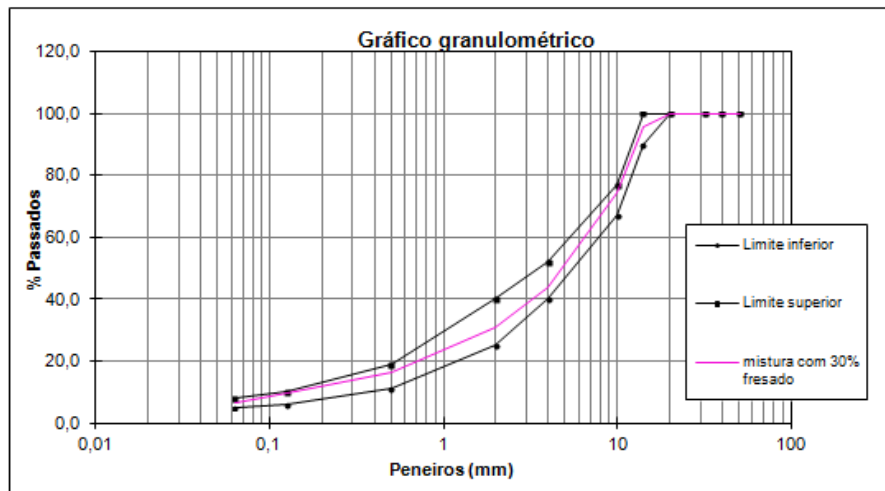


Figura 5.17 - Curva granulométrica final das misturas com e sem material fresado e os limites do fuso do CE

A distribuição granulométrica de uma mistura, garante a estabilidade da mistura, uma vez que determina o “arranjo” entre as partículas e conseqüentemente o atrito entre elas.

### 5.2.2. Determinação da relação Filler/betume

Os valores da relação volumétrica filler/ betume para a mistura são determinados de acordo com a seguinte fórmula:

$$f/b = ((100-v) \times \Delta T_{ab}) / (1021,2 + \Delta T_{ab} \times v)$$

f/b – Relação volumétrica filler/betume

v - Vazios do filler compactado (%)

$\Delta T_{ab}$  – Aumento da temp. anel e bola

Com o valor da % de vazios do filler compactado, utiliza-se a expressão para efectuar o cálculo para  $\Delta T_{ab}=12^{\circ}\text{C}$  e para  $\Delta T_{ab}=16^{\circ}\text{C}$ . Efectua-se a média dos dois valores e obtemos da relação filler/ betume que no presente caso varia entre **1.17** e **1.55**

### 5.2.3. Formulação da mistura - MÉTODO MARSHALL

O método de Marshall é um método de formulação de misturas betuminosas que se baseia na utilização de um ensaio de compressão diametral, onde é medida a estabilidade (resistência à deformação) de um provete a um aumento de deformação constante.

A partir da composição de agregados acima referida, tabela 4.11 foi efectuada uma mistura betuminosa com várias % s de betume e realizadas as seguintes tarefas:

- Fabricadas 5 misturas betuminosas com incorporação de 30% de fresado (de acordo com a EN 12697-35) considerando 5 percentagens de betume diferentes com incrementos de 0.5% em torno do valor de referência (4, 4.5, 5, 5.5 e 6%).
- Sobre as amostras dessas misturas betuminosas foi determinada a baridade máxima teórica (de acordo com EN 12697-5)
- Foram compactados 4 provetes para cada % de betume acima referida;
- Sobre esses provetes compactados foram realizados os seguintes ensaios:

Baridade (Kg/m<sup>3</sup>)

Porosidade (%)

Grau de saturação em betume (%)

Estabilidade (N) – Método Marshall

Deformação (mm) – Método Marshall  
VMA

Os provetes foram preparados segundo o método Marshall.

O ligante betuminoso é um betume asfáltico para pavimentação 35/50. Foram preparadas cinco séries, correspondentes a cinco percentagens em betume diferentes. Para cada série de percentagem em betume foram moldados quatro provetes, num total de 10, as percentagens em betume utilizadas foram de 4 a 6 (numa variação de 0,5 %).

Para a moldagem dos provetes segue-se a EN 12697-34, e é efectuada num compactador automático, foi utilizada a energia de compactação correspondente a 75 pancadas em cada topo, de acordo com o indicado no CE. As temperaturas de mistura e de compactação dos provetes foram fixadas de acordo com o betume utilizado.

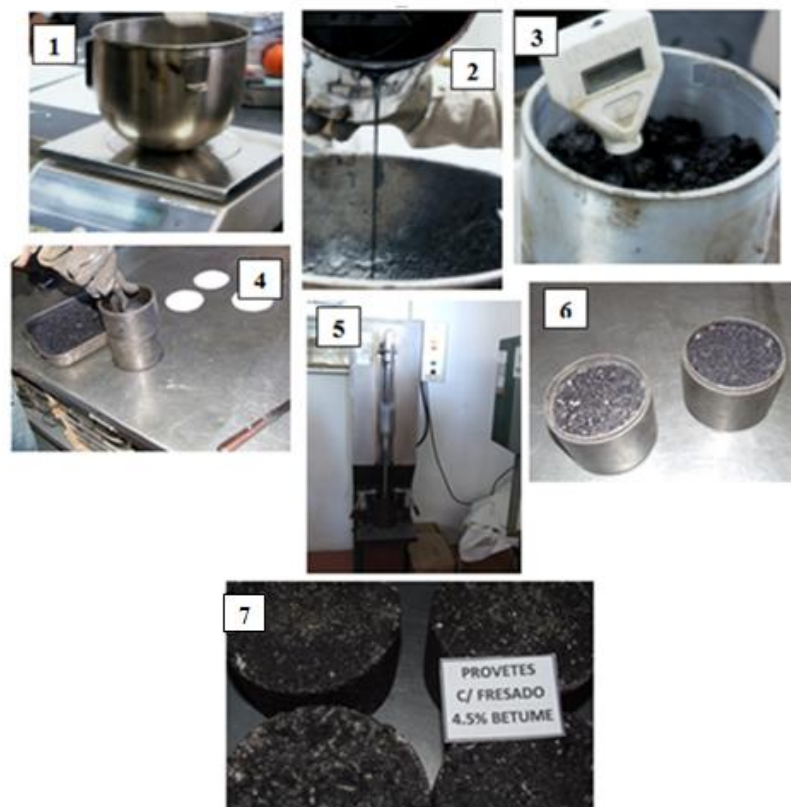


Figura 5.18 - Etapas de execução de provetes da mistura com material fresado (foto da autora)

- **Determinação da baridade dos provetes**

A determinação das baridades dos provetes é realizada segundo a NP EN 12697-6, em que se fazem a pesagem sucessiva dos provetes secos, imersos em água e com a superfície seca (no ar).

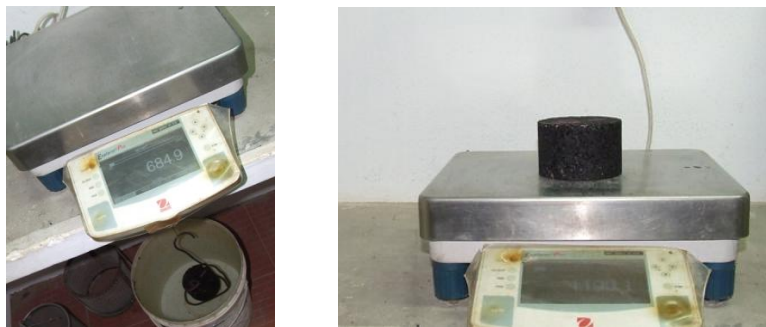


Figura 5.19 - Ensaio da baridade dos provetes (foto da autora)

- **Determinação da Baridade Máxima Teórica das mistura-BMT**

Este ensaio segue a NP EN 12697-5 Para cada percentagem de betume foi determinada a BMT, que se traduz pela seguinte equação:

$$BMT = \frac{m_2 - m_1}{1000 \times v_p - \frac{(m_3 - m_2)}{\rho_w}}$$

Em que:

BMT – Baridade máxima teórica

$\rho_w$  – Massa volúmica do líquido à temperatura de ensaio (kg/m<sup>3</sup>)

$V_p$  – Volume do picnómetro (m<sup>3</sup>)

$m_1$  – Massa do picnómetro + tampa (g)

$m_2$  – Massa do picnómetro + tampa + amostra (g)

$m_3$  – Massa do picnómetro + tampa + amostra + água (g)



Figura 5.20 - Ensaio para determinação da BMT (foto da autora)

- **Determinação da Estabilidade e da deformação através da Prensa Marshall**



Figura 5.21 - Prensa Marshall (foto da autora)

Este ensaio segue a norma EN 12697-34 e indica a resistência que a mistura oferece à aplicação de uma força.

Como já foi referido anteriormente executaram-se 4 provetes para cada percentagem de betume, num total de 20 provetes para a mistura com incorporação de 30% de material fresado.

Calculou-se a média dos valores da baridade dos provetes para cada percentagem de betume, assim como da estabilidade, da deformação, dos vazios e da porosidade, cujos resultados se encontram na tabela seguinte:

Tabela 5.12 - Resultados dos ensaios

% de betume	Baridade máxima teórica	Porosidade	VMA	% volumétrica em betume	Carga de rotura	Deformação
4	2498	7.1	15.9	8.8	12170	1.5
4.5	2479	5.8	15.8	10	14227	1.9
5	2463	4.7	16	11.2	14863	2.4
5.5	2448	3.8	16.1	12.3	13802	3
6.0	2431	3.7	17.1	13.4	12596	3.6

#### 5.2.4. Determinação da percentagem óptima de betume

Com os resultados da tabela anterior elaboram-se os gráficos comparativos de cada característica com a respectiva % de betume, para determinar a percentagem óptima de betume.

A % óptima de betume é a que resulta da média de valores das % de betume que conduziu aos seguintes gráficos:

- Valor máximo da baridade da mistura compactada (\*)
- Valor médio dos limites do valor da porosidade de referência
- Ao valor máximo da estabilidade Marshall

Deverá ainda corresponder a uma deformação e a um VMA dentro de certos limites impostos pelas especificações. (Se os critérios pré-estabelecidos não forem atingidos será necessário produzir outra mistura que os verifique até se atingir a formulação certa).

Na tabela abaixo encontram-se os parâmetros do CE a cumprir para as misturas betuminosas com características de AC14bin35/50 (BB).

Tabela 5.13 - Critérios do CE para AC14bin35/50 (BB)

Características da Mistura		Valores de ref <sup>a</sup> do CE para a camada	Características da Mistura		Valores de ref <sup>a</sup> do CE para a camada
Características Marshal	Estabilidade (KN)	Smin7.5 – Smáx21	Relação Filler/Ligante (%)	Entre 1.17 e 1.55	
	Deformação (mm)	Fmin 2 – Fmáx 4	Índice de Resistência conservada - IRC (%)	80	
VMA (%) min		14	Sensibilidade á água (ITSR)	A declarar	
Porosidade V (%)		Vmin3 - Vmax5	Resistência à deformação permanente (“Wheel tracking”)	A declarar	
Baridade		A declarar	% ligante	Bmin.4.0	
Baridade máxima teórica		A declarar			

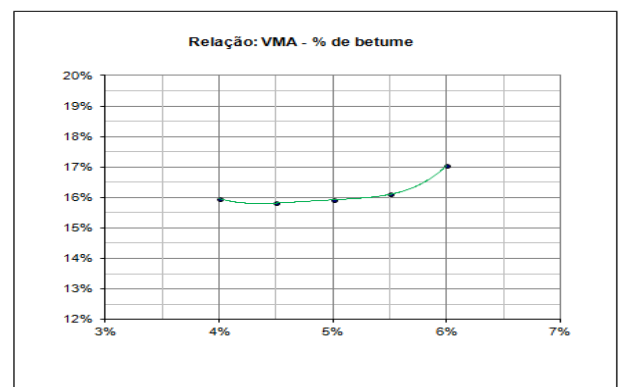
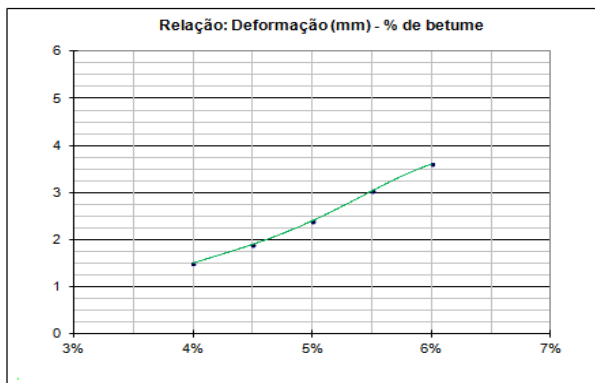
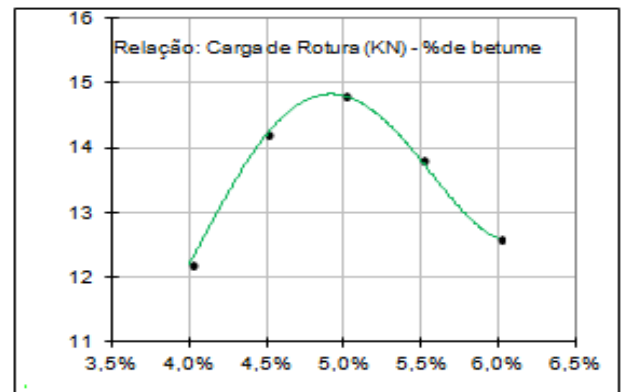
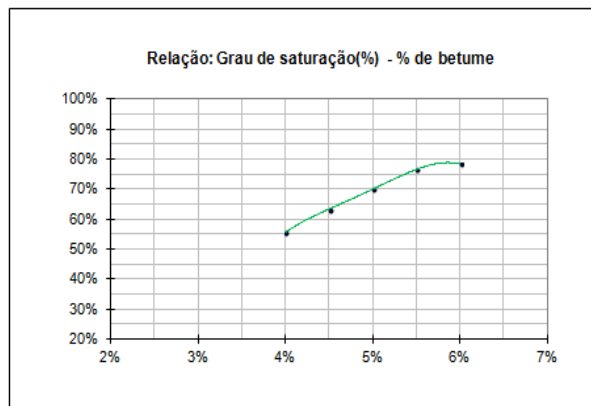
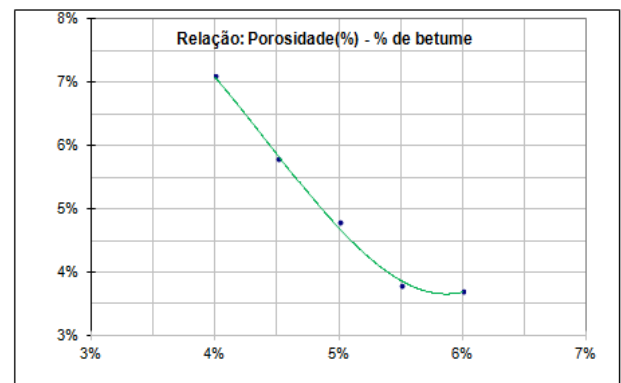
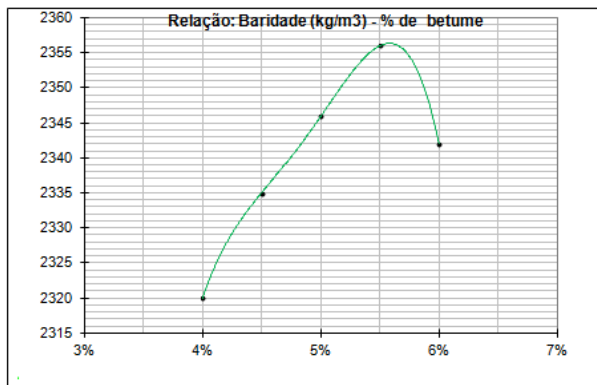


Figura 5.22 - Influência da variação do ligante nas propriedades da mistura

A percentagem “óptima” de betume será então a média das percentagens correspondentes à máxima estabilidade, à máxima baridade e ao valor médio dos limites da porosidade. Deverá ainda corresponder a uma deformação e a um VMA dentro de certos limites impostos pelas especificações.

De acordo com a metodologia apresentada podemos retirar os seguintes valores dos gráficos anteriores para poder calcular a % óptima de betume:

- baridade máxima de 2356 => 5.6 % betume
- porosidade de 4% => 5.4 % betume
- Para a carga de rotura máxima de 14.8 KN => 4.9 % betume

Assim, a **% óptima de betume** da mistura final ser **5.3%**

#### **5.2.5. Determinação das características da mistura final**

Após a determinação da % óptima de ligante faz-se uma nova mistura com essa percentagem e as respectivas proporções de agregados e filler. Serão compactados 8 provetes. As baridades são determinadas em 2 grupos de 4 provetes e devem ser similares entre si. Colocam-se os provetes em banho-maria a 60°C. Após 34/40 minutos efectua-se o ensaio Marshall a 4 provetes, os restantes 4 provetes só serão ensaiados após 24 horas de imersão no banho-maria. O quociente (em %) entre o valor médio da estabilidade Marshall dos provetes imersos 24 horas e o valor médio da estabilidade ao 34/40 minutos é o Índice de resistência conservada.

Na tabela 5.14 apresenta-se os resultados da característica da mistura



Tabela 5.14 - Características da mistura AC 14bin35/50 (BB) com incorporação de 30% de material fresado com a % óptima de betume

Características da Mistura		Valores de ref <sup>a</sup>	Valores obtidos para AC 14bin35/50(BB) com incorporação de 30% de fresado
Características Marshall	Estabilidade (KN)	S <sub>min</sub> 7.5 – S <sub>máx</sub> 21	14.6
	Deformação (mm)	F <sub>min</sub> 2 – F <sub>máx</sub> 4	2.5
	Quociente Marshall(KN/mm)	Q <sub>min</sub> 2	5.8
VMA (%) min		<b>14</b>	16.2
Porosidade V (%)		<b>V<sub>min</sub>3 - V<sub>max</sub>5</b>	4.3
Baridade		<b>A declarar</b>	2349
Baridade máxima teórica		<b>A declarar</b>	2456
Relação Filler/Ligante (%)		<b>Entre 1.17 e 1.55</b>	1.41
Resistência conservada - IRC (%)		<b>80</b>	90
Sensibilidade á água (ITSR)		<b>A declarar</b>	82.1%
Resistência à deformação permanente (“Wheel tracking”)		<b>A declarar</b>	WTS <sub>air</sub> 0.07
% ligante		<b>B<sub>min</sub>.4.0</b>	5.3

### 5.3. Transposição da Formula obtida em laboratório para a Central

Após o estudo realizado e posterior obtenção da fórmula da nova mistura, é necessário proceder à introdução da mesma na central, ou seja fazer uma transposição do laboratório para a central de betuminosos.

Seguidamente executa-se umas amassaduras na central, colhendo-se uma amostra que será analisada em laboratório para verificação dos resultados, ou seja, se estão de acordo com o formulado em laboratório e cumpre o exigido no CE ou não.

Tabela 5.15 - Granulometria da mistura

Amostra	% Acumulada do material que passa (abertura dos peneiros série base +2)							
	20	14	10	4	2	0,5	0,125	0,063
Trecho	100	96.3	76.5	44.2	32.6	18.5	9.9	7.9

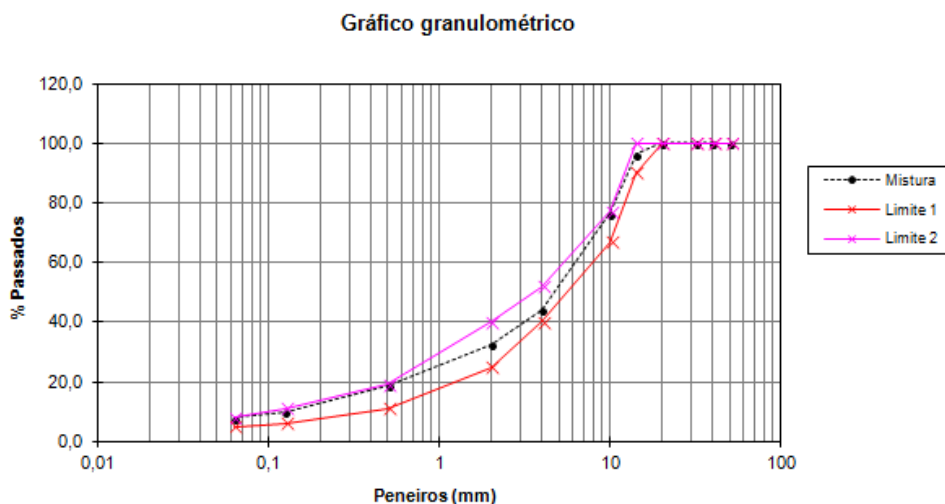


Figura 5.23 - Curva granulométrica da amostra da transposição da central

Tabela 5.16 - Resultados dos ensaios da amostra da transposição para a central

Características da Mistura		Valores de ref <sup>a</sup>	Estudo	Amostra da Transposição
Características Marshall	Estabilidade (KN)	Smin7.5 – Smáx21	14.6	15
	Deformação (mm)	Fmin 2 – Fmáx 4	2.5	2.2
	Quociente Marshall(KN/mm)	Qmin2	5.8	6.8
VMA (%) min		14	16.2	16
Porosidade V (%)		Vmin3 - Vmax5	4.3	4
Baridade		A declarar	2349	2349
Baridade máxima teórica		A declarar	2456	2446
Relação Filler/Ligante (%)		Entre 1.17 e 1.55	1.41	1.47
Resistência conservada - IRC (%)		80	90	94
% ligante		Bmin.4.0	5.3	5.37

Após análise dos resultados dos ensaios à amostra da transposição realizada na central, verifica-se que os mesmos cumprem os requisitos do CE.

#### 5.4. Execução de Trecho Experimental em obra

Após a transposição da central realizou-se um trecho experimental em obra, sendo de seguida apresentados os resultados dos ensaios.

Foi colhida uma amostra em obra cujo resultados são os que se apresentam de seguida:

Tabela 5.17 - Granulometria da mistura

Amostra	% Acumulada do material que passa (abertura dos peneiros série base +2)							
	20	14	10	4	2	0,5	0,125	0,063
Trecho	100	94.2	75.7	40.4	28.1	15.6	9	6.8

Gráfico granulométrico

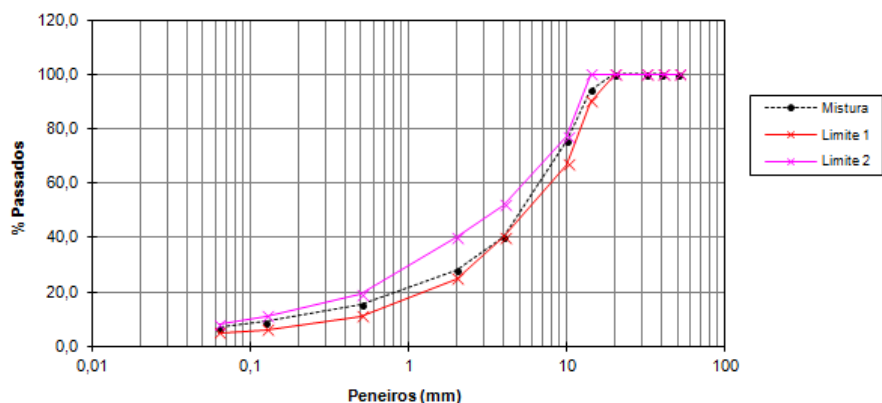


Figura 5.24 - Curva granulométrica da mostra do trecho experimental

Tabela 5.18 - Resultados da amostra do trecho experimental

Características da Mistura		Valores de ref <sup>a</sup>	Estudo	Amostra da Transposição	Amostra do trecho
Características Marshall	Estabilidade (KN)	Smin7.5 – Smáx21	14.6	15	14.5
	Deformação (mm)	Fmin 2 – Fmáx 4	2.5	2.2	2.0
	Quociente Marshall(KN/mm)	Qmin2	5.8	6.8	7.2
VMA (%) min		14	16.2	16	16.7
Porosidade V (%)		Vmin3 - Vmax5	4.3	4	4.9
Baridade		A declarar	2349	2349	2339
Baridade máxima teórica		A declarar	2456	2446	2454
Relação Filler/Ligante (%)		Entre 1.17 e 1.55	1.41	1.47	1.28
Resistência conservada - IRC (%)		80	90	94	97
% ligante		Bmin.4.0	5.3	5.37	5.31

Após análise dos resultados da amostra do trecho experimental verifica-se que a deformação se encontra no limite mínimo e a relação filler/betume se encontra um pouco baixa, contudo ainda dentro dos limites exigidos no CE.

Foram colhidos carotes no trecho experimental cujos resultados se apresentam na tabela 5.20.



Figura 5.25 - Recolha de carotes na camada de pavimento (foto da autora)

Na tabela 5.19 apresentam-se os Requisitos de conformidade.

Tabela 5.19 - Requisitos para porosidade de uma mistura de AC 14bin35/50 (BB)

Requisitos/Propriedades	Utilização
<b>Especificidades de utilização</b>	Calculado com base na baridade máxima teórica determinada pelo método do picnómetro de vácuo para a percentagem óptima de betume
<b>Porosidade individual de cada carote</b>	$\leq 10$
<b>Porosidade média</b>	3 – 8

**Tabela 5.20 - Resultados da baridade e porosidade dos carotes do trecho experimental de AC14bin35/50**

% de betume	Localização	Massa ao ar	Massa em água	Massa com superfície seca	Temp.	Baridade	BMT	Porosidade individual
1	Cruzamento Leilocentro	1642.7	941.8	1644.4	18.4	2335	2454	4.8
2		1570.3	896	1579.1		2296		6.4
3		2328.6	1327.1	2338.3		2300		6.3
4		1402.8	796.4	1414		2268		7.6
5		1552.4	887.3	1559.2		2307		6
6		1326.4	753.3	1332.3		2288		6.8

Dos resultados dos carotes podemos dizer que se encontram dentro dos limites exigidos no CE.

**5.5. Alguns Ensaio realizados ao pavimento após aplicação em Obra**

Após a aplicação das camadas de pavimento em obra, procedeu-se à execução de 2 ensaios in situ.



**Figura 5.26 - Aplicação da mistura em obra (foto da autora)**

### 5.5.1. Determinação da Rugosidade do pavimento – Macrotextura

A medição pontual da textura de um pavimento determina-se pelo **ensaio da Mancha de areia**, conforme a EN 13036-1, que consiste em ter um determinado volume conhecido de areia fina calibrada que se verte no pavimento e utilizando um disco com uma base de borracha, vai-se espalhando gradualmente em movimentos circulares até não se conseguir aumentar mais a mancha de areia (circunferência). A areia vai entrando nas cavidades do pavimento. Mede-se o diâmetro da mancha de areia, e sabendo o volume inicial, é possível calcular a espessura média da mancha de areia.



Figura 5.27 - Ensaio da Mancha de Areia (foto da autora)

Quanto menor for a área do círculo maior é a textura do pavimento, pois a areia fica retida nos espaços vazios existentes no pavimento.

Os Requisitos de conformidade relativos à macrotextura superficial pelo método volumétrico da mancha de areia para camadas de AC14bin5/50 (BB) são os que se apresentam na tabela abaixo.

Tabela 5.21 - Requisitos para MTD de uma mistura de AC14bin35/50 (BB)

Requisitos/Propriedades	Utilização
Especificidades de utilização	Determinação da profundidade de textura pelo método volumétrico da mancha (MTD)
MTD – profundidade média de textura (mm)	$\geq 0.7$

Tabela 5.22 - Valores de MTD da mistura aplicada

Nº ENSAIO	Local	Faixa	D1	D2	D3	D4	Média	Rugosidade (mm)
1	4+450	Esq.	180	185	182	181	182	0,96
2	4+300	Esq.	180	182	180	185	182	0,96
3	4+200	Esq.	200	202	200	203	201	0,79
4	4+100	Esq.	205	202	210	205	206	0,75
5	4+000	Esq.	200	190	195	190	194	0,85
6	3+900	Esq.	190	195	195	190	193	0,86
7	3+800	Esq.	170	180	180	175	176	1,02
8	3+600	Esq.	185	180	182	180	182	0,96
9	3+500	Esq.	200	202	200	205	202	0,78
10	3+500	Dir.	190	192	190	188	190	0,88

### 5.5.2. Determinação do Coeficiente de atrito - Microtextura

O atrito de um pavimento é avaliado através de ensaio com o Pêndulo Britânico, que consiste em deslizar sobre um pavimento seco ou molhado, uma borracha, que se encontra presa a uma haste que é elevada a uma determinada altura e posteriormente é largada. Quanto maior é o atrito menor é a altura atingida pela haste depois de ter roçado no pavimento. Este ensaio segue a EN 13036-4.

Os Requisitos de conformidade relativos ao Coeficiente de atrito pelo método do pêndulo britânico para a camada de AC14bin35/50(BB) são os que se apresentam na tabela abaixo.

Tabela 5.23 - Requisitos para PTV de uma mistura de AC 14bin35/50 (BB)

Requisitos/Propriedades	Utilização
Especificidades de utilização	Ensaio com o pêndulo britânico
Coefficiente de atrito pontual – (pendulum test value) (PTV)	$\geq 60$



Figura 5.28 - Ensaio do pêndulo Britânico (foto da autora)

Tabela 5.24 - Valores de PTV da mistura aplicada

Nº ENSAIO	Local	1	2	3	4	5	Média	Média corrigida
1	Variante ao sobreiro	75	77	75	77	76	76	74
2	Variante ao sobreiro	79	79	80	80	81	80	78
3	Variante ao sobreiro	74	73	74	75	75	74	72
4	Variante ao sobreiro	76	77	79	78	79	78	76
5	Variante ao sobreiro	76	76	76	76	77	76	74
6	Variante ao sobreiro	75	75	75	74	74	75	73
7	Rotunda da Volvo	74	74	74	73	73	74	72
8	Rotunda da Volvo	70	70	70	71	71	70	68
9	Rotunda da Volvo	72	72	72	72	72	72	70
10	Rotunda da Volvo	71	69	74	73	72	72	70

Do resultado dos ensaios pode-se dizer que a camada de ligação apresenta uma microtextura com valores aceitáveis.



### 5.6. Análise de resultados

Após formulada a mistura, feita a transposição para a central e realizado o trecho experimental podemos obter as seguintes conclusões:

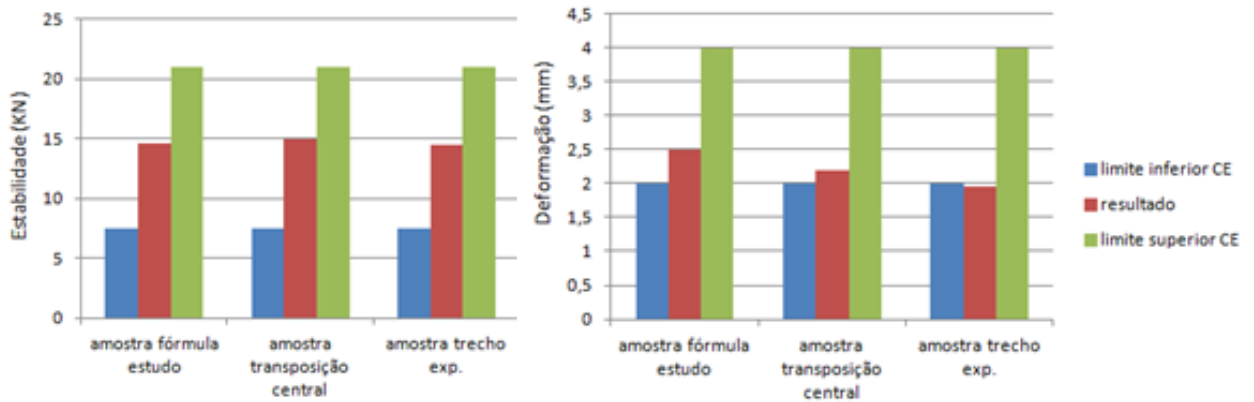


Figura 5.29 - Características Marshall

Do ensaio Marshall realizado às 3 amostras (amostra da formulação da mistura, amostra da transposição para a central e amostra do trecho experimental), verifica-se que os valores da estabilidade da mistura são muito semelhantes e cumprem os requisitos exigidos pelo CE. Relativamente à deformação o mesmo se verifica, contudo no trecho experimental o valor da deformação encontra-se no limite inferior.

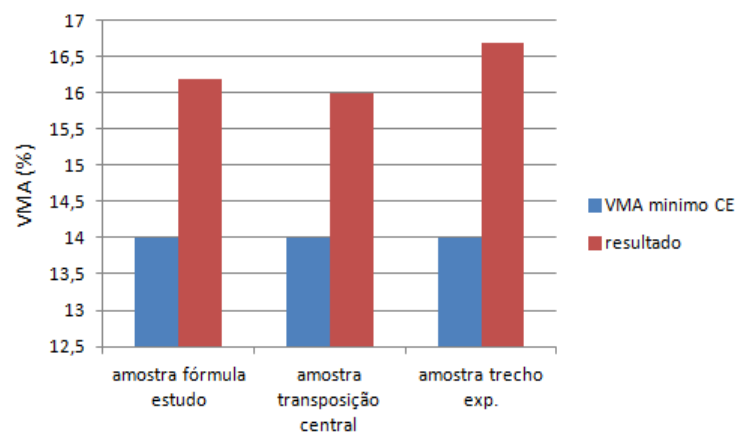


Figura 5.30 - Vazios na mistura de agregados das amostras

Relativamente aos vazios na mistura de agregados (VMA), todas as amostras apresentam valores acima do definido no CE

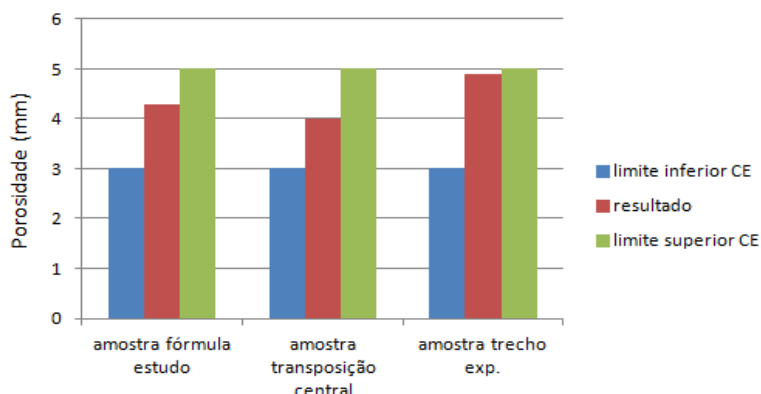


Figura 5.31 - Porosidade das amostras

Em relação aos valores da porosidade das 3 amostras estas estão dentro dos limites estabelecidos no CE, no entanto a amostra do trecho experimental apresenta um valor muito próximo do limite admissível.

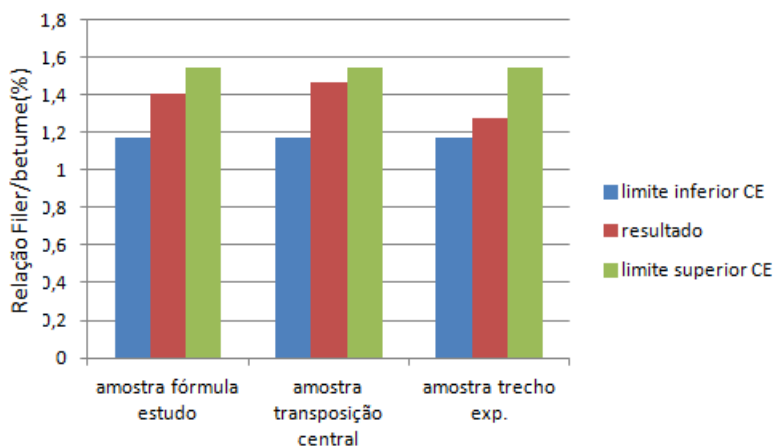


Figura 5.32 - Relação Filer/betume das amostras

Relativamente à relação filler/betume os valores estão dentro dos limites do CE, no entanto verifica-se que diferem um pouco, reflexo da quantidade de material fresado incorporado, que como se trata de uma quantidade considerável torna-se mais difícil acertar o valor.

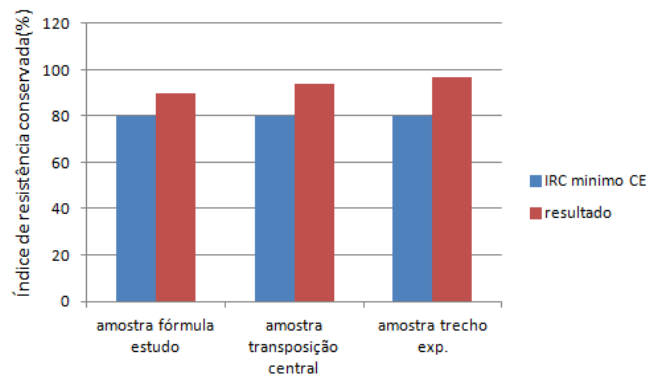


Figura 5.33 - Índice de resistência conservada das amostras

Tendo em conta o valor da Resistência conservada para este tipo de mistura pela observação do gráfico pode-se dizer que as amostras apresentam todas elas valores acima do exigido no CE.

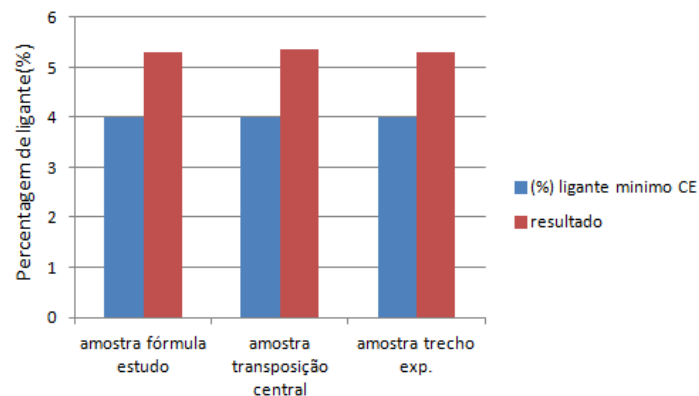


Figura 5.34 - Percentagem de ligante das amostras

Em relação à percentagem de betume das amostras, todas elas apresentam um valor semelhante.

Após a análise de todos os parâmetros exigidos no CE, conclui-se que a mistura apresenta valores aceitáveis, podendo-se aplicar a mistura em obra. Contudo é importante referir que a mistura reciclada pode ser aplicada.

Relativamente aos ensaios realizados in situ após a aplicação da camada em obra pode-se dizer que os resultados relativamente à **MTD – profundidade média de textura (mm)** são todos superiores ao exigido no CE  $\geq 0.7\text{mm}$ .

Quanto ao valor do **PTV – Coeficiente de atrito pontual**, os resultados dos ensaios são também todos superiores ao exigido no CE  $\geq 60$ .

Por fim, Com a colheita de carotes podemos dizer que a camada apresenta valores de porosidade enquadrados nos limites exigidos no CE.

Com todos os resultados obtidos pode-se afirmar que a aplicação da mistura betuminosa a quente com incorporação de 30% de material fresado estudada, é uma boa alternativa a ter em conta para a reabilitação do pavimento danificado.







## **Capítulo 6**

# **CONCLUSÃO E FUTUROS TRABALHOS**

---









## 6. CONCLUSÃO E FUTUROS TRABALHOS

### 6.1. Conclusão

Com o desenvolvimento deste trabalho pretende-se contribuir para o incentivo à implementação em Portugal da reciclagem de pavimentos rodoviários degradados, a qual constitui uma alternativa interessante e eficiente a ter em conta.

Pretendeu-se também contribuir para o estudo e aplicação de misturas betuminosas recicladas a quente em central (MBRQ).

O Principal objectivo deste trabalho foi o estudo e formulação de uma nova mistura a fabricar pela Pedreira Sacramento, mistura essa, cuja característica que apresenta em relação às MBQ tradicionais é a incorporação de uma quantidade significativa, 30% , de material fresado proveniente da obra a sofrer beneficiação e a verificação do cumprimento dos requisitos exigidos no CE da obra para a mistura final.

Perante os objectivos pretendidos com a presente dissertação, podemos dizer que foram cumpridos, uma vez que:

A nova mistura foi formulada e verificada em laboratório e cumpria os requisitos exigidos pelo CE.

Foi feita a transposição da fórmula para a central e verificou-se através dos ensaios realizados nas amassaduras que estas cumpriam os requisitos exigidos pelo CE.

Foi executado um trecho experimental em obra, donde se colheu uma amostra do material e carotes para análise e os resultados obtidos cumpriam os requisitos exigidos pelo CE.

As misturas com incorporação de material fresado apresentam um desempenho satisfatório em comparação com as das misturas tradicionais, conforme podemos verificar com os resultados obtidos nas amostras analisadas.

Com a aplicação deste tipo de mistura betuminosa na obra que sofreu beneficiação obteve-se benefícios de ordem ambiental e económica. A nível ambiental houve uma menor exploração de matéria-prima para produção de agregados e o menor consumo de betume, consequentemente menor exploração das jazidas de combustíveis fósseis. A nível económico os benefícios são bastante significativos, uma vez que houve uma diminuição

de consumo de agregados e de betume, este último com elevada expressão, devido ao aumento constante do valor do barril de crude.

Por outro lado, referem-se aspectos negativos no que diz respeito à produção da nova mistura, uma vez que se verificou a ocorrência de uma quebra no rendimento da Central, reflexo da alta percentagem de material fresado incorporado, que faz com que para a execução das amassaduras haja necessidade de maior tempo de mistura das amassaduras para obter uma adequada homogeneização da mistura final, dado que o material fresado é incorporado à temperatura ambiente. É necessário um controlo mais apertado na produção das misturas para estas apresentarem temperatura adequada para posterior aplicação em obra

Pela análise feita no CE das Estradas para a caracterização de misturas betuminosas a quente com incorporação de material fresado, podemos concluir que a qualidade que se exige às misturas recicladas a quente é a mesma que as misturas tradicionais, como tal são uma boa aposta para a reabilitação de pavimentos.

A reciclagem é uma técnica com inúmeras vantagens do ponto de vista de protecção do meio ambiente e ecológicas, uma vez que existe uma necessidade menor de se extrair matéria primas, logo não havendo tanto impacto visual e destruição dos ecossistemas, uma menor necessidade de se levar os materiais degradados a vazadouros, um menor consumo de energia, entre outras. Deste modo promove-se uma construção sustentada das obras, recorrendo à reciclagem de fresados de misturas betuminosas envelhecidas.

A reciclagem, é assim, mais uma opção de reabilitação de pavimentos degradados, e não deve reciclar-se simplesmente porque é um cenário ecológico, mas sim, porque é tecnicamente adequado e dela derivam vantagens económicas (Azevedo, M., 2009).

## 6.2. Desenvolvimentos futuros

Num futuro próximo, pretende-se dar continuidade ao trabalho iniciado com esta dissertação, com os seguintes objectivos:

1. Realização de estudos à semelhança deste que envolvam outras técnicas de reciclagem a quente com outros tipos de misturas betuminosas.
2. Acompanhamento in situ de obras em que haja a aplicação de misturas betuminosas a quente em central com a incorporação de grandes percentagens de material reciclado, com a finalidade de avaliar o comportamento do pavimento a longo prazo, realizando-se ensaios ao pavimento espaçados no tempo para ver o tipo de evolução que o pavimento apresenta.
3. Estudar os custos/benefícios com a incorporação de percentagens mínimas definidas de material fresado em todas as misturas betuminosas a aplicar, tendo em atenção a questão da sustentabilidade e protecção dos recursos naturais existentes.









## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---







## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azevedo, M., 2004 - Sistema de Gestão de Pavimentos – Manual de utilização, EP-Estradas de Portugal, E.P.E., Almada.

Azevedo, M., 2009 - Construção e Reabilitação de Pavimentos – Reciclagem de Pavimentos. Documento Base, INIR, Lisboa.

Batista, F., 2004 – Misturas Betuminosas Densas a Frio. Tese de Doutoramento submetida à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Departamento de Engenharia Civil.

Baptista, A., 2006 – Misturas Betuminosas Recicladas a Quente em Central – Contribuição para o seu estudo. Dissertação submetida à Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, como requisito para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil, Especialidade de Urbanismo, Ordenamento do Território e Transportes.

Branco, F.; Pereira, P.; Picado-Santos, 2010 – Pavimentos Rodoviários. Edições Almedina, 4ª Reimpressão, Coimbra

Silva, L., Benta, A. e Macedo J. (2010) - Gestão sustentável de pavimentos aeroportuários <http://pluris2010.civil.uminho.pt/Actas/PDF/Paper142.pdf> (visitado Setembro 2013)

Cunha, M, 2010 – Reciclagem de Pavimentos Rodoviários flexíveis. Diferentes tipos de Reciclagem. Dissertação submetida ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Departamento de Engenharia Civil para obtenção de grau de Mestre em Engenharia Civil na área de especialização de Vias de Comunicação e Transportes.

Directiva 89/106/cee do conselho de 21 de dezembro de 1988

Directiva 93/68/cee do conselho de 22 de julho de 1993

Decreto-lei nº 113/93 revogado pelo Decreto-lei 4/2007 de 8 de janeiro e Portaria 566/93 revogada pelo DL 4/2007

EAPA, 1998 - Directivas ambientais sobre as melhores técnicas disponíveis (BAT) para a produção de misturas betuminosas.. Documento traduzido pela APORBET.

Fonseca, 2002 – Reciclagem de Pavimentos Rodoviários. RECIPAV, Cartaxo, 2002.

Freire, A. C., 2004 - “Agregados para Misturas Betuminosas”. Lisboa.

Gomes, L. 2005 – Reciclagem de Misturas Betuminosas a Quente em Central. Tese de Mestrado em Engenharia Civil na área de especialização de Vias de Comunicação e Transportes.

INIR (2010) - Construção e Reabilitação de Pavimentos - Reciclagem de Pavimentos”, Instituto de infra-estruturas rodoviárias, <http://www.inir.pt/portal/LinkClick.aspx?fileticket=LVK4Id9p8ME%3D&tabid=116&mid=487&language=pt-PT> (visitado em Setembro 2013)

Oliveira, R. (em curso) – Dissertação de Mestrado em Engenharia Geológica, Universidade de Aveiro.

Pereira, E.; Gonçalves, L.S. & Moreira, A., 2007 - Carta e Notícia Explicativa da Folha 13-D (Oliveira de Azeméis) da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000. D.G.G.M. Serviços Geológicos de Portugal.

Pereira, P., & Miranda, C., 1999 - Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários. Universidade de Braga. Braga.

PTC, 2005 - Interactive Training Guides - Pavement Tools Consortium. University of Washington, Seattle, Washington, United States of America, <http://training.ce.washington.edu/>.

Santos, J.F., Mendes, M.H., Gonçalves, A.C. & Moita, P. (2012) - New geochemical and isotopic constraints on the genesis of the Oliveira Azeméis granitoid melts (Porto-Tomar Shear Zone, Iberian Variscan Chain, Central-Western Portugal). Geophysical Research. Abstracts, v. 14, EGU2012-3430-1, 1 p.

Silva, E.C.O. (2013) – Dados Isotópicos (Sistemas Rb-Sr e Sm-Nd) de Rochas Graníticas e Migmatíticas da Área de Oliveira de Azeméis. Relatório de Projeto da Licenciatura em Engenharia Geológica, Universidade de Aveiro, 63 pp.

Soares, J; Ceratti, J; Motta, L; Bernucci, L., 2008 - Pavimentação Asfáltica – Formação básica para Engenheiros. Rio de Janeiro.

EP 2008 - Pavimentação – Métodos Construtivos. Caderno de encargos tipo obra”. Estradas de Portugal.

Pedreiras Sacramento, Lda. - Manual de Marcação CE e08, Travanca, 2011.

NP EN 932-1- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 1: Métodos de Amostragem. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2002.

NP EN 932-2- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 2: Métodos de Redução de amostras laboratoriais. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2002.

NP EN 933-1- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 1: Análise granulométrica – Método de peneiração. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2000.

NP EN 933-2- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 2: Determinação granulométrica – Peneiros de ensaio, dimensão nominal das aberturas”. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 1999.

NP EN 933-3- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 3: Determinação da forma das partículas – Índice de achatamento. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2002.

NP EN 933-4- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 4: Determinação da forma das partículas – Índice de forma. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2002.

NP EN 933-5- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 5: Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 1999.

NP EN 933-8- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 8: Determinação do teor de finos – Ensaio do equivalente de areia. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2002.

NP EN 933-9- Ensaio das propriedades geométricas dos agregados – Parte 8: Determinação do teor de finos – Ensaio do azul de metileno. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2002.

NP EN 1097-1- Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 2: Métodos para a determinação da resistência à fragmentação. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2002.



NP EN 1097-2- Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 2: Determinação da resistência ao desgaste micro-Deval. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2002.

NP EN 1097-6- Ensaio das propriedades mecânicas e físicas dos agregados – Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2003.

NP EN 12620:2002+A1 - Agregados para betão. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2010.

NP EN 12697-6- Misturas betuminosas. Métodos de ensaio para misturas betuminosas a quente. Parte 6: Determinação da baridade de provetes betuminosos. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2003.

NP EN 12697-30- Misturas betuminosas. Métodos de ensaio para misturas betuminosas a quente. Parte 30: Preparação de provetes por compactador de impacto. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2004.

NP EN 12697-34- Misturas betuminosas. Métodos de ensaio para misturas betuminosas a quente. Parte 34: Ensaio Marshall. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2004.

EN 12697-5- “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 5: Determination of the maximum density”, European Committee for Standardization, Bruxelas, 2002.

EN 12697-29- “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 29: Determination of the dimensions of a bituminous specimen, European Committee for Standardization, Bruxelas, 2002.

EN 12697-39- “Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 29: binder content by ignition, European Committee for Standardization, Bruxelas, 2002.

EN 13036-1- “Road and airfield surface characteristics – Test methods – Part 1: Measurement of pavement surface macrotexture depth using a volumetric patch technique”, European Committee for Standardization, Brussels, 2001.

EN 13036-4- “Road and airfield surface characteristics – Test methods – Part 4: Method for measurement of slip/skid resistance of a surface – The pendulum test”, European Committee for Standardization, Brussels, 2003.

NP EN 13043 - Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2004.

NP EN 13108 - 1 – Misturas betuminosas. Especificações dos materiais. Parte 1: Betão betuminoso. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2011.

EN 13108 - 7 – Bituminous mixtures. Material specifications. Parte 7: Porous Asphalt. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2006.

NP EN 13108 - 20 – Misturas betuminosas. Especificações dos materiais. Parte 20: Ensaio de tipo. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2011.

NP EN 13108 - 21 – Misturas betuminosas. Especificações dos materiais. Parte 21: Controlo da Produção em Fábrica. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2008.

NP EN 13242:2002+A1 - Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2010.

NP EN 13383-1- Enrocamento - Parte 1: Especificações. Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2010.